Além dos Rejeitos:
A Mineração e a Relação de Grandes Empreendimentos de Engenharia com as Comunidades Locais



MCCD

Além dos Rejeitos:
A Mineração e a Relação de Grandes Empreendimentos de Engenharia com as Comunidades Locais

Breno O. Perdigão

Melbourne Centre for Community Development
www.melbourneccd.com
Brasil ● 2026

Geração após geração, aqueles que pretendiam permanecer e prosperar onde estavam foram despojados e expulsos — ou subvertidos e explorados onde estavam — por aqueles que levavam adiante alguma versão da busca do Eldorado. […] Sempre disseram que aquilo que destruíam era ultrapassado, provinciano e desprezível. E, com alarmante frequência, foram acreditados e confiados por suas próprias vítimas.

Wendell Berry, *The Unsettling of America: Culture & Agriculture*

No estágio avançado da produção em massa, uma sociedade produz a própria destruição.

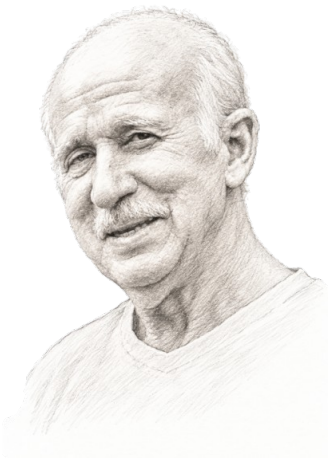
Ivan Illich, *La Convivencialidad*

A despossessão está no centro das atividades da indústria da mineração.

Huggins (ed.), *Property Rights and Governance in Artisanal and Small-Scale Mining*

Tudo está debaixo da lama, inclusive nosso sonho.

Produtora rural, *Opção pelo Risco*



Ivany José Rodrigues de Oliveira
(1940–2026)

Ao meu avô Ivany (in memoriam), uma das minhas maiores inspirações e aquele que primeiro me ensinou a trabalhar. Com ele aprendi a podar uma árvore, consertar um chuveiro, trabalhar com as mãos e, sobretudo, a ter curiosidade para saber como as coisas funcionam. Sem formação superior ou qualquer pretensão de ensinar engenharia, foi ele quem, por seu exemplo, me ensinou que construir é também, sempre, uma forma de cuidar.

Agradeço também aos amigos e professores Donald e Veronica De Raadt, cujo pensamento atravessa estas páginas e moldou o modo como aprendi a olhar para comunidades e sistemas. Agradeço à minha esposa, Helena, companheira nas leituras, escritas e nas muitas conversas em que minhas ideias foram sendo amadurecidas e aprofundadas. Agradeço ao meu filho, José Marcos, que me lembra todos os dias da responsabilidade de pensar no mundo que estamos construindo. Agradeço aos meus pais, avós e irmã, alicerce de tudo o que sou.

Resumo

Este livro reúne três momentos de análise sobre a relação entre grandes projetos tecnológicos e as comunidades que os acolhem. O primeiro nasceu de um trabalho de conclusão de curso em Engenharia Civil, realizado em 2019, e apresenta uma crítica construtiva às principais metodologias de gestão de rejeitos de mineração. O estudo dialoga com a escola holandesa de filosofia da tecnologia, a Filosofia da Ideia Cosmonômica de Herman Dooyeweerd, o Modelo Triplo I de Maarten Verkerk, o Design Sensível a Valor e o Pensamento Sistêmico Multimodal (PSMM), utilizado naquele momento como uma das referências conceituais da análise.

Sete anos depois, um novo capítulo retoma esse trabalho a partir da aplicação do PSMM ao problema da mineração. A crítica ao reducionismo continua válida, mas a nova análise reconhece uma limitação importante do estudo original: as comunidades afetadas foram tratadas como variáveis do projeto, e não como sujeitos da tomada de decisão. Com base em fontes documentais, o capítulo reconstrói os casos de Mariana e Brumadinho a partir de cinco fatores — Autoridade, Trabalho, Apropriação da Riqueza, Organização Social e Relação Ecológica — e das relações sistêmicas entre eles. Dessa leitura resulta uma proposta de mineração em escala comunitária, fundada nos princípios da subsidiariedade, na territorialização da riqueza e na responsabilidade intergeracional.

O terceiro trabalho, apresentado como apêndice, aplica o PSMM a uma comunidade ribeirinha do rio Paraná situada a jusante da Usina Hidrelétrica Porto Primavera. Elaborado por Elisa de Bastiani Menon, o estudo amplia a discussão para outro tipo de grande empreendimento e outro contexto comunitário.

Lista de Abreviaturas e Siglas

3IM	Modelo Triplo I
ABCD	Desenvolvimento Comunitário Baseado em Ativos (*Asset-Based Community Development*)
ABET	Conselho de Acreditação para Engenharia e Tecnologia (*Accreditation Board for Engineering and Technology)*
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEI	Análise das Estruturas de Individualidade
ALMG	Assembleia Legislativa de Minas Gerais
AMM	Análise Multimodal
ASM	Mineração Artesanal e de Pequena Escala (*Artisanal and Small-scale Mining*)
AVABRUM	Associação dos Atingidos e Vítimas da Barragem de Rejeitos de Brumadinho
CBMM	Companhia Brasileira de Mineração e Metalurgia
CDCU	Cooperativa de Crédito de Desenvolvimento Comunitário (*Community Development Credit Union*)
CESP	Companhia Energética de São Paulo
CETEM	Centro de Tecnologia Mineral
CF	Constituição Federal
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPI	Comissão Parlamentar de Inquérito
CSA	Comunidade que Sustenta a Agricultura
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CTPT	Crítica Transcendental ao Pensamento Teórico
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
DNPM	Departamento Nacional da Produção Mineral
EAD	Educação a Distância
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FJP	Fundação João Pinheiro
FPIC	Consentimento Livre, Prévio e Informado (*Free, Prior and Informed Consent*)
GESTA/UFMG	Grupo de Estudos em Temáticas Ambientais, da Universidade Federal de Minas Gerais
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
ICMM	Conselho Internacional de Mineração e Metais (*International Council on Mining and Metals*)
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
IIDE	Instituto Internacional de Desenvolvimento

	e Ética
IPEF	Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais
ISSQN	Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza
IUM	Imposto Único sobre Mineral
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MIC	Ministério da Indústria e do Comércio
MINTER	Ministério do Interior
MME	Ministério de Minas e Energia
MPF	Ministério Público Federal
MPMG	Ministério Público de Minas Gerais
NBR	Norma Brasileira (ABNT)
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PRAD	Plano de Recuperação de Área Degradada
PRISMMA	Pesquisa sobre a Saúde Mental das Famílias Atingidas pelo Rompimento da Barragem do Fundão
PSMM	Pensamento Sistêmico Multimodal
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SEMA	Secretaria Especial do Meio Ambiente
SQM	Sociedade Química e Mineira (*Sociedad Química y Minera – Chile*)

SSMA	Segurança, Saúde e Meio Ambiente
TAM	Teoria dos Aspectos Modais
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TEI	Teoria das Estruturas de Individualidade
TMB	Teoria dos Motivos-Base
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
UHE	Usina Hidrelétrica
UNDRIP	Declaração das Nações Unidas sobre os Direitos dos Povos Indígenas
VSD	Design Sensível a Valor (*Value Sensitive Design*)

Sumário

Resumo.....10
Lista de Abreviaturas e Siglas.....11
Nota à Edição Impressa.....xix
1. Introdução.....24
2. Fundamentos Teórico-Filosóficos da Prática da Engenharia.....29
2.1 Definição do Método de Engenharia.....29
2.1.1 Produção de Mudanças.....33
2.1.2 Consideração dos Recursos Disponíveis.....36
2.1.3 A Melhor Mudança Possível.....38
2.1.4 Incertezas nos Problemas em Engenharia.....43
2.2 O Impacto da Filosofia na Engenharia.....46
2.2.1 A Filosofia Engenheiril da Tecnologia.....51
2.2.2 A Escola Holandesa de Filosofia da Tecnologia…53
2.3 Obstáculos para uma Visão Interdisciplinar da Engenharia.....75
2.3.1 A Superespecialização.....75
2.3.2 Excessiva Confiança em Indicadores.....79
2.3.3 O Problema das “Muitas Mãos”.....81
3. Gestão dos Rejeitos da Mineração e Suas Implicações..85
3.1 Exploração de Recursos Naturais e o Conceito de Sustentabilidade.....85
3.1.1 Exploração Minerária no Brasil.....95
3.1.2 A Regulamentação da Mineração no Brasil.....98

3.2 Metodologias Preponderantes na Gestão de Rejeitos da Mineração.....103
3.2.1 Aterro Hidráulico.....105
3.2.2 Disposição em Cava Subterrânea.....114
3.2.3 Disposição em Cava a Céu Aberto.....115
3.2.4 Disposição de Rejeito Espessado.....117
3.2.5 Disposição de Rejeito Filtrado.....122
3.3 Escolha do Método.....128
4. Ferramentas Filosóficas para Projetos de Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração.....131
4.1 Reflexões Críticas Relacionadas ao Modelo Triplo I. 139
4.2 Ferramentas Gerenciais Auxiliares.....143
4.2.1 Design Sensível a Valor.....144
4.2.2 Pensamento Sistêmico Multimodal.....145
4.3 Aplicação em Projetos de Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração.....154
5. Considerações Finais.....163
6. Além dos Rejeitos: Reflexões Sete Anos Depois.....165
6.1 O que Permanece Válido.....166
6.2 Os Limites da Resposta Original.....167
6.2.1 Segurança Técnica e Legitimidade Social.....170
6.3 Do Diagnóstico Filosófico à Investigação das Comunidades.....172
6.4 Reconstruindo o Caso: Mariana e Brumadinho à Luz do PSMM.....178
6.4.1 Construção do Modelo Empírico.....179

6.4.2 Os Vínculos entre os Fatores.....236
6.4.3 Ciclos de Retroalimentação.....263
6.5 Rumo a uma Mineração de Escala Comunitária.....281
6.5.1 A Comunidade como Sujeito Político.....282
6.5.2 Experiências de Governança Comunitária na Mineração.....285
6.5.3 O Princípio da Escala Humana e da Subsidiariedade.....290
6.5.4 Territorializar a Riqueza.....310
6.6 Uma Leitura Sistêmica da Mineração.....332
6.6.1 Dois Modelos de Mineração.....333
6.6.2 Mineração e Viabilidade Comunitária.....343
6.6.3 Responsabilidade Intergeracional e o Planejamento do Pós-Mineração.....345
6.6.4 Síntese: Escala, Legitimidade e Viabilidade.....352
6.7 Da Literatura à Prática.....355
6.7.1 Práticas e Possibilidades de Organização.....358
6.7.2 Um Exercício de Aplicação: Granja Vista Alegre 363
6.8 Considerações Finais da Reedição.....366
Referências Bibliográficas.....375
Anexo I – Trabalho de Conclusão de Curso de Elisa de Bastiani Menon.....405
Apresentação do Anexo.....405

Aplicação do Método Sistêmico Multimodal em Comunidade Ribeirinha no Rio Paraná – Análise Dos Vínculos Intermodais.....408
1 Introdução.....408
2 Materiais e Método.....411
3 Análise.....421
4. Considerações Finais.....434
5. Agradecimentos.....435

Nota à Edição Impressa

Este livro tem sua origem em meu Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, intitulado *Fundamentos Teóricos para Metodologias de Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração: Uma Abordagem a partir de Teorias Não Reducionistas da Realidade*, defendido em 2019. O texto que compõe a parte principal desta obra corresponde substancialmente àquela pesquisa, preservada em sua forma original.

Entretanto, o leitor não tem em mãos apenas uma republicação de um trabalho acadêmico. Esta edição foi concebida como um exercício de revisão crítica e amadurecimento intelectual. Ao longo dos anos que se seguiram à defesa do trabalho, muitas das questões levantadas naquela pesquisa continuaram presentes em meus estudos, enquanto diversas conclusões foram aprofundadas, reformuladas ou mesmo abandonadas. Não se tratou, porém, de abandonar a engenharia ou negar a pesquisa original, mas de reler seus pressupostos e conclusões a partir de novas perguntas e novas experiências de pesquisa.

Por essa razão, esta obra está organizada em diferentes camadas de leitura. O leitor encontrará, inicialmente, o texto original do Trabalho de Conclusão de Curso, acompanhado por notas inseridas ao longo da obra, nas quais procuro comentar passagens específicas à luz de pesquisas e reflexões posteriores.

Em seguida, apresento um capítulo inédito (capítulo 6), no qual retomo criticamente a pesquisa original e, por meio da aplicação do Pensamento Sistêmico Multimodal (PSMM), desenvolvo uma nova leitura dos casos de Mariana e Brumadinho. A partir dessa análise, procuro compreender as relações entre os grandes empreendimentos de mineração e as comunidades locais e, ao mesmo tempo, desenvolver a ideia de uma mineração em escala comunitária, fundamentada na subsidiariedade, na territorialização da riqueza e na responsabilidade intergeracional.

Por fim, esta edição inclui como anexo o Trabalho de Conclusão de Curso de Elisa de Bastiani Menon, intitulado *Aplica-*

ção do Método Sistêmico Multimodal em Comunidade Ribeirinha no Rio Paraná – Análise dos Vínculos Intermodais, desenvolvido sob orientação conjunta de Ester Wolff Loitzenbauer e minha.

Sua pesquisa não deve ser entendida apenas como um estudo posterior ao meu, mas como uma investigação que se debruça sobre questões semelhantes em outro contexto. Enquanto meu trabalho analisou os desafios relacionados à mineração e à gestão de rejeitos a partir de uma crítica às abordagens reducionistas, sua pesquisa examina os impactos da instalação de uma usina hidrelétrica sobre uma comunidade ribeirinha por meio do Método Sistêmico Multimodal. Em ambos os casos, o foco desloca-se das soluções meramente técnicas para a compreensão das múltiplas dimensões — sociais, econômicas, ambientais, culturais e institucionais — envolvidas em grandes intervenções tecnológicas sobre territórios e comunidades humanas.

Sua inclusão neste volume permite ao leitor observar não apenas a evolução de determinadas ideias ao longo do tempo, mas também sua aplicação em novos contextos e problemas concretos. Assim, ao reunir uma pesquisa original, suas revisões posteriores e uma investigação desenvolvida por uma nova pesquisadora, minha intenção é oferecer uma pequena demonstração do próprio processo de construção do conhecimento. Um percurso marcado por continuidade e mudança, por convicções preservadas e conclusões revisadas, por erros corrigidos e novas possibilidades que se abrem a cada geração de pesquisadores.

Continuo convencido da tese central que orientou a minha pesquisa em 2019. Problemas complexos não podem ser adequadamente compreendidos nem enfrentados por meio de abordagens reducionistas. A crítica ao tecnicismo, à fragmentação do conhecimento e à tendência de absolutizar critérios exclusivamente econômicos ou técnicos permanece, para mim, tão relevante hoje quanto era quando este trabalho foi escrito.

Entretanto, passados alguns anos, percebo que algumas de minhas conclusões exigem complementação.

Quando escrevi este estudo, minha atenção estava concentrada principalmente nas metodologias de gestão e manejo de rejeitos da mineração. Minha preocupação consistia em demonstrar que a escolha entre diferentes tecnologias, métodos construtivos e estratégias de gerenciamento deveria levar em consideração uma pluralidade de fatores humanos, sociais, ambientais, éticos e econômicos. Eu acreditava que uma abordagem filosófica mais ampla poderia contribuir para escolhas mais responsáveis dentro do setor mineral.

Ainda considero essa contribuição válida. Contudo, hoje entendo que ela é insuficiente.

O problema fundamental da mineração não se resume à escolha entre tecnologias melhores ou piores, nem à adoção de procedimentos mais seguros para disposição de rejeitos. Soluções técnicas são importantes, mas não são capazes de responder sozinhas às questões mais profundas envolvidas na atividade minerária. Barragens podem ser aprimoradas, sistemas de filtragem podem evoluir e modelos de gestão podem se tornar mais sofisticados. Nada disso, porém, elimina a necessidade de refletirmos sobre a relação entre os empreendimentos minerários e as comunidades humanas afetadas por eles.

Ao longo dos anos que se seguiram à conclusão desta pesquisa, o contato com novas correntes de pensamento, a convivência acadêmica e de amizade com o professor J. Donald R. De Raadt, os estudos realizados junto ao *Melbourne Centre for Community Development* e a participação em pesquisas comunitárias contribuíram para ampliar significativamente minha compreensão do problema. Questões que apareciam apenas de forma indireta neste trabalho passaram gradualmente para o centro das minhas preocupações.

Passei a compreender com maior clareza que a sustentabilidade de um empreendimento não pode ser avaliada apenas por indicadores técnicos, ambientais ou financeiros. Ela deve ser julgada também pela sua capacidade de fortalecer — ou enfra-

quecer — os laços comunitários, a autonomia local, a cultura dos lugares e as formas concretas de vida das pessoas que habitam os territórios afetados por essas intervenções. Essa mudança de perspectiva me levou a enxergar os desastres minerários não apenas como falhas de engenharia ou de governança corporativa, mas como sintomas de uma lógica mais ampla, caracterizada pela concentração de poder, pela distância entre os centros de decisão e as comunidades afetadas e pela fragilidade das instituições locais diante de interesses econômicos de grande escala.

Se este trabalho foi, originalmente, uma crítica ao reducionismo técnico, hoje eu acrescentaria que também precisamos direcionar a crítica ao reducionismo institucional e econômico. A pergunta decisiva não é apenas qual tecnologia utilizar, mas que tipo de relação desejamos construir entre a atividade econômica e as comunidades que sustentam a vida social.

Além das razões teóricas que justificam esta publicação, há também uma motivação pedagógica e uma preocupação mais próxima da minha própria realidade. Ao longo dos últimos anos, tive a oportunidade de orientar estudantes, participar de projetos acadêmicos e acompanhar a elaboração de trabalhos de conclusão de curso. Nesse contexto, percebi que este texto poderia continuar sendo útil não apenas pelo conteúdo que apresenta, mas também como exemplo concreto de um processo de pesquisa acadêmica que foi, ele próprio, revisto e ampliado ao longo do tempo. Ao mesmo tempo, a relação entre mineração e comunidades deixou de ser para mim apenas uma questão de estudo. Vivendo n bairro Granja Vista Alegre, uma comunidade que convive com os impactos e as transformações associados à atividade minerária e a outros grandes empreendimentos, passei a olhar para essas questões também a partir da realidade do lugar onde vivo. Essa experiência reforçou a importância de retomar o tema e aprofundar a discussão sobre a relação entre grandes empreendimentos e comunidades locais.

Esta edição é publicada principalmente para meus alunos e vizinhos, companheiros de pesquisa e luta por uma vida me-

lhor no lugar em que vivemos. Desejo que eles encontrem nestas páginas um exemplo real das possibilidades e desafios envolvidos na elaboração de uma pesquisa. O trabalho possui méritos que considero dignos de serem preservados, especialmente o esforço de integrar áreas distintas do conhecimento, formular uma pergunta relevante e buscar fundamentos teóricos sólidos para respondê-la. Ao mesmo tempo, possui limitações, excessos e lacunas que hoje reconheço com maior clareza. Espero que os leitores aprendam não apenas com os acertos desta pesquisa, mas também com seus erros, omissões e caminhos que poderiam ter sido desenvolvidos de forma diferente.

A pesquisa acadêmica é sempre uma etapa de uma conversa maior. Nenhum trabalho representa uma palavra final sobre determinado tema. Pelo contrário, seu verdadeiro valor está em abrir novas perguntas, corrigir rumos e possibilitar avanços posteriores.

Por essa razão, vejo este livro não como um ponto de chegada, mas como o início de uma investigação que continua em andamento. Muitas das perguntas formuladas nestas páginas permanecem abertas. Algumas respostas foram modificadas. Outras foram abandonadas. Mas a convicção que motivou a pesquisa continua a mesma. Problemas humanos exigem respostas humanas, e nenhuma técnica, por mais sofisticada que seja, pode substituir a responsabilidade moral, política e comunitária daqueles que compartilham um mesmo território.

Que este texto seja lido, portanto, não apenas como um estudo sobre rejeitos da mineração, mas como parte de uma busca mais ampla por compreender como a tecnologia, a economia e as organizações locais podem servir ao florescimento das nossas comunidades, em vez de substituí-las ou subordiná-las.

Breno Oliveira Perdigão
Julho de 2026

1. Introdução

A utilização e a extração de materiais da terra remontam ao período em que os seres humanos descobriram as primeiras ferramentas de pedra, e apesar da dependência que se desenvolveu ao longo dos séculos dos produtos advindos das tecnologias extrativistas e suas ciências associadas, a mineração permanece como uma atividade sobremodo controversa circundada por questionamentos éticos, políticos, sociais e legais. A exploração minerária abrange um conjunto de funções destinadas "a pesquisar, descobrir, mensurar, extrair, tratar ou beneficiar e transformar recursos minerais de forma a torná-los benefícios econômicos e sociais."[1]. Tal atividade representa aproximadamente 5% de todo o Produto Interno Bruto Brasileiro (PIB), sendo que 75% deste é representado pela extração de minério de ferro[2]. Contudo, apesar de tamanha representatividade e influência na economia nacional, grandes riscos estão associados à gestão do rejeito advindo de tais empreendimentos.

A maior parte dos projetos do setor de mineração leva em conta a perspectiva social, econômica e ambiental durante o processo de escolha dos melhores e mais viáveis métodos de gestão e manejo dos rejeitos. Entretanto, é notável a falta de uma perspectiva filosófica que proponha uma estrutura de conhecimento com potencial heurístico capaz de viabilizar a integração teórica e prática das diferentes áreas da experiência humana e, ao mesmo tempo, promova o respeito à diversidade das esferas do conhecimento e as integre, tendo em vista a sustentabilidade não apenas do empreendimento, mas de todo o contexto socioambiental envolvido, seja impactado direta ou indiretamente.

A ausência de tal perspectiva é um dos possíveis fatores que acarretou, em 5 de novembro de 2015, o rompimento da barragem de Fundão, da mineradora Samarco, em Mariana (MG), o maior desastre socioambiental do país no setor de mineração, com o lançamento de aproximadamente 45 milhões de metros

---

1 IBRAM, 2016.

2 IBRAM, 2015.

cúbicos de rejeitos no meio ambiente. De modo semelhante, no dia 25 de janeiro de 2019 a Barragem 1 da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG), da mineradora Vale rompeu-se deixando aproximadamente 224 mortos e 69 desaparecidos até o momento desta publicação.[3] A partir de desastres como estes se percebe que é de extrema relevância o incentivo à reflexão teórico-filosófica dos métodos da engenharia e mais especificamente das aplicações metodológicas da gestão e manejo de rejeitos da mineração.

A atual "sociedade de risco" impõe uma nova responsabilidade aos empreendimentos de engenharia, não somente no sentido de reparação dos danos ocorridos, mas uma responsabilidade ética pelos riscos abstratos e incertos que muitos empreendimentos de gestão e manejo de rejeitos da mineração podem vir a oferecer ao meio ambiente e à sociedade como um todo. Um dos problemas identificados neste processo é o reducionismo tecnicista que visa apenas o caráter técnico da engenharia, com sua norma máxima de eficiência técnica e econômica em detrimento de uma perceptível anomia normativa e uma precariedade nos processos de decisão que baseiem toda concepção do projeto, desconsiderando as propriedades passivas dos objetos e ignorando, deste modo, uma ampla variedade de aspectos modais como os aspectos éticos, econômicos, biológicos e fiduciários próprios do empreendimento, conforme exposto na filosofia da Ideia Cosmonômica, desenvolvida pelo filósofo cristão holandês Herman Dooyeweerd (1894-1977).

Assim, deve-se considerar que o engenheiro, além de possuir o domínio sobre o conhecimento técnico e científico em sua área de atuação, também deve ter competência para compreender e interpretar o significado e a influência de suas decisões e ações. À vista disso, o presente tema de pesquisa é fundamentado pela impor-

[3] Nota do Autor (2026): O número de vítimas indicado no texto corresponde aos dados disponíveis no momento da publicação original desta obra, em 2019. Na presente edição, os registros oficiais contabilizam 272 mortes decorrentes do rompimento da Barragem 1 da Mina Córrego do Feijão. Duas pessoas continuam oficialmente desaparecidas. (conforme o balanço do encerramento das buscas em janeiro de 2026).

tância da análise conceitual, da percepção reflexiva e do pensamento interdisciplinar, agrupados na reflexão filosófica durante o processo de análise crítica da gestão e manejo dos rejeitos de minério, com o intento de contribuir com uma abordagem pouco conhecida desta questão. Essa reflexão traz à tona ferramentas de gestão pouco utilizadas no setor minerário permitindo o florescimento de escolhas responsáveis que englobam os mais diversos aspectos, salvaguardando o meio ambiente, a sociedade e reduzindo os impactos causados por tal atividade. Torna-se necessário, então, pensar em um questionamento contundente: como as metodologias utilizadas na gestão e manejo de rejeitos da mineração devem ser criticamente analisadas e de que modo o processo de elaboração e escolha criteriosa de tais metodologias é influenciado e direcionado negativamente a partir de visões reducionistas do contexto do empreendimento e da prática da engenharia?

A fim de apontar um novo caminho para a tomada de decisão com base em critérios que considerem o caráter complexo e integral da realidade e também com a finalidade de responder a este oportuno e imprescindível questionamento, pode-se demonstrar a existência de um posicionamento crítico interdisciplinar em relação ao gerenciamento do rejeito mineral para, desta forma, eliminar ou minimizar os riscos relacionados a tais empreendimentos.

Para tanto far-se-á uso dos conceitos básicos de uma Filosofia da Tecnologia em sua aplicação no trabalho de engenharia, bem como as implicações destes conceitos para a gestão e manejo de rejeitos da mineração, além do desenvolvimento de questões de responsabilidade e ética na profissão do engenheiro civil. Torna-se necessária também a apresentação, a partir dos estudos de sistemas estruturais e geotécnicos, das principais práticas de gestão e manejo de rejeitos de mineração desenvolvidas com a finalidade de diminuir os riscos e os potenciais danos econômicos, sociais e ambientais associados à sua adequada disposição, dentre as quais pode-se fazer menção de práticas como o empilhamento drenado e o empilhamento a seco, a disposição em cava subterrânea, disposição em cava a céu aberto e a disposição de rejeito espessado. Em seguida, será analisado o pensamento de engenheiros e filóso-

fos com a finalidade de expor o chamado Modelo Triplo I (3IM), elaborado por Maarten Verkerk e juntamente com a abordagem teórica denominada Design Sensível a Valor (VSD, *Value Sensitive Design*) e o Pensamento Sistêmico Multimodal como teorias de suporte e ferramentas conceituais aplicáveis à análise das metodologias de gestão e manejo dos rejeitos da mineração, seus riscos e os atuais modelos utilizados para este fim, de forma a garantir a sustentabilidade do empreendimento a partir de uma visão não reducionista do referido empreendimento.

O método de pesquisa utilizado foi o de revisão de literatura, compreendendo aspectos gerais sobre metodologias de gestão e disposição de rejeitos da mineração e ferramentas filosóficas que auxiliarão no processo de escolha criteriosa das respectivas metodologias. O presente trabalho fundamenta-se em uma pesquisa qualitativa e descritiva, servindo-se de livros, artigos científicos, teses e dissertações publicados, em sua grande maioria, nos últimos 35 anos, compreendendo aspectos gerais sobre rejeito da mineração, gestão e manejo do rejeito e ferramentas para gestão de projetos de engenharia.

2. Fundamentos Teórico-Filosóficos da Prática da Engenharia

2.1 Definição do Método de Engenharia

No processo de conceitualização da engenharia é necessário que se examinem diversas definições excludentes e complementares para alcançar uma elucidação que se mostre satisfatória em sua relação com a amplitude de tal trabalho.[4] Tendo em vista este objetivo, o engenheiro estadunidense e especialista em análise de falha, Henry Petroski, apresenta a necessidade de compreendermos, ainda que de forma parcial, a natureza da própria engenharia[5].

Historicamente, Mitcham afirma que os primeiros profissionais da engenharia eram militares que trabalhavam na projeção, construção e operação de "fortificações e motores de

[4] Nota do Autor (2026): Quando escrevi este trabalho, minha compreensão da atividade profissional ainda estava fortemente associada à ideia moderna de emprego, isto é, ao exercício de uma função técnica dentro de estruturas organizacionais burocráticas maiores. Estudos posteriores, no entanto, levaram-me a distinguir com maior clareza os conceitos de emprego e vocação. O emprego refere-se à ocupação exercida por uma pessoa dentro de determinada organização burocrática. A vocação, por sua vez, diz respeito ao chamado para servir ao próximo por meio do trabalho realizado. Sob essa perspectiva, a engenharia civil não encontra seu significado último na execução de projetos para grandes corporações ou instituições estatais, mas em sua capacidade de contribuir para o bem-estar das pessoas, famílias e comunidades. Essa mudança de perspectiva levou-me a redescobrir o próprio sentido do termo civil na expressão "engenharia civil". Mais do que uma disciplina voltada à construção de obras e infraestruturas, ela pode ser compreendida como uma atividade orientada ao serviço da vida comunitária. Em retrospecto, considero que essa compreensão oferece uma base mais adequada para avaliar o papel social da engenharia. Para discussões relacionadas a essa reformulação de minhas concepções sobre trabalho, vocação e engenharia civil, bem como ao percurso intelectual que a tornou possível, ver Berry (1987; 2015a; 2015b), Bruni (2005), Cass (2018), Gasda (2016), Groves (2020), Mitchell e Peters (2018), Tolstói (2012) e o Prefácio de Perdigão (2025).

[5] Petroski, 1992, tradução nossa.

guerra, tais como aríetes, catapultas e canhões"[6]. O termo "engenheiro civil" teve por objetivo inicial fazer referência às atividades e conhecimentos envolvidos originalmente em contextos e problemas militares em questões não militares. A formulação da definição de engenharia do século XVIII de Thomas Tredgold fazia parte do esforço que buscava desassociar o trabalho da engenharia com os artefatos de guerra. Em sua redação original ele escreve que "a engenharia é a arte de dirigir as grandes fontes de poder na natureza para o uso e a conveniência do homem"[7].

Com esta nova atribuição, o trabalho inicial do engenheiro é tido como formular cientificamente um determinado problema tecnológico e perguntar quais leis tecnológicas podem oferecer uma solução para ele[8]. De forma complementar a este pensamento Petroski[9] defende que todos os esforços como engenheiro, primordialmente no que se refere a engenharia estrutural, encontram sua finalidade em conceder sustentação àquilo que nunca antes se susteve, criar algo novo através da modelagem da natureza e evitar falha neste empreendimento. De igual modo, Herbert Clark Hoover, o 31º presidente dos Estados Unidos e que também trabalhou como engenheiro de minas, defendia que "ao engenheiro cabe a tarefa de vestir os ossos da ciência de vida, conforto e esperança"[10].

Além de tais definições erigidas ao longo da história é necessário fazer menção as definições clássicas, ainda adotadas como padrão, que os engenheiros oferecem de sua própria profissão. Para Mitcham a engenharia é "a aplicação de princípios científicos para a conversão ideal de recursos naturais em estruturas, máquinas, produtos, sistemas e processos em benefício da humanidade."[11] Outra definição que recebe extremo prestígio na tarefa de elucidar o trabalho do engenheiro é for-

6 Mitcham, 2017, p. 9.
7 Mitcham, 2017, p. 16.
8 Schuurman, 2009.
9 Petroski, 1992.
10 Hoover, 1951, tradução nossa.
11 Mitcham, 2017, p. 6.

necida pelo engenheiro G. F. C. Rogers, autor de diversos livros entre os quais encontra-se excepcional obra "*The Nature of Engineering: A Philosophy of Technology*" na qual ele afirma:

> A engenharia refere-se à prática de organizar o projeto e a construção [e, eu acrescentaria, a operação] de qualquer artifício que transforma o mundo físico ao nosso redor para atender a alguma necessidade reconhecida.[12]

A *Accreditation Board for Engineering and Technology* (ABET), uma das maiores credenciadoras de programas de faculdades e universidades em ciências aplicadas e naturais, computação e engenharia expõe a conceituação do trabalho engenheiril como

> a profissão na qual o conhecimento das ciências matemáticas e naturais, obtido pelo estudo, experiência e prática, é aplicado com discernimento para desenvolver maneiras de utilizar, economicamente, os materiais e forças da natureza para o benefício da humanidade.[13]

Em conjunto com as definições apresentadas, Koen[14] afirma que a compreensão da engenharia como ciência aplicada tem recebido alta credibilidade atualmente. Apesar de uma real influência, definir a engenharia simplesmente como ciência aplicada é enganoso tanto a partir da visão histórica como sistemática. Apesar de boa parte da tecnologia contemporânea ser ciência aplicada não podemos tomar isto como fundamento para definição. A ciência no sentido de "combinação de experimentos controlados com leis matemáticas da natureza"[15], tem aproximadamente quatrocentos anos, enquanto a tecnologia remonta às ferramentas de pedra dos primeiros humanos.

Ao longo da maior parte da história humana, a tecnologia não foi ciência aplicada e mesmo na situação contemporânea,

---

12 Rogers, 1983, p. 51, tradução nossa.
13 Dandy et al., 2008, tradução nossa.
14 Koen, 1985.
15 Dusek, 2009, p. 50.

em que a mesma é "empreendida primariamente pelos que têm um histórico-científico" e na qual "a instrução científica é essencial para a maior parte da invenção tecnológica"[16], muitas das invenções são produtos do acaso ou de ensaio e erro e não uma aplicação direta da teoria científica para a obtenção de um objetivo pressuposto.

De modo semelhante Koen defende que:

> A tese de que engenharia é ciência aplicada falha porque o conhecimento científico nem sempre esteve disponível e nem sempre é disponível agora, e porque mesmo que disponível, nem sempre é apropriado que ele seja usado.[17]

Em meios profissionais e acadêmicos, especialmente aqueles que abrangem campos de conhecimento das ciências naturais e das *Hard Sciences*, incluindo a engenharia, não há interesse e pode-se ver grande despreocupação com disputas relacionadas a definições. Estas discussões são muitas vezes são chamadas "meramente semânticas" e podem trazer aparência de um detalhismo excessivo e desnecessário. Na verdade, as buscas por definições são semânticas no sentido de que lidam com o significado, porém não são triviais.[18]

Seguindo esta perquirição por uma definição mais adequada e coerente com a complexidade apresentada aos engenheiros em seu trabalho diário, Koen[19] argumenta que a engenharia não pode ser definida como a aplicação direta e prática do método cientifico, solução de problemas, nem pelas atividades executadas pelo engenheiro tais como elaboração de projetos, gerenciamento de obras, tomada de decisões, ou pelos resultados pretendidos ou alcançados em seus empreendimentos. De tal modo, a profissão da engenharia deve ser definida pelo seu método, isto é, "a estratégia para causar, com os recursos dis-

---

16 Dusek, 2009, p. 51.
17 Koen, 1985, p. 81, tradução nossa.
18 Dusek, 2009.
19 Koen, 1985.

poníveis, a melhor mudança possível em uma situação incerta ou pobremente entendida."[20]

Esta definição pode ser desmembrada em quatro conceitos fundamentais: "mudança", "recursos disponíveis", "melhor" e "incerteza". Estes auxiliarão na compreensão e na criação de vias de diálogo entre a filosofia e a engenharia.

2.1.1 Produção de Mudanças

O primeiro conceito fundamental de definição e explanação do método da engenharia é a produção de mudanças. A ideia basilar de que engenheiros ocasionam mudanças no decurso de seu trabalho é largamente aceita sem necessidade de discussões sofisticadas e também fundamenta todos os demais conceitos, considerando que se deseja alcançar a mudança de determinada situação levando em conta a melhor solução a ser implementada, a incerteza da situação e os recursos disponíveis.[21] De acordo com Koen[22] os engenheiros produzem mudanças. Em sua vocação ele deseja "alterar, modificar ou converter o mundo representado por um estado determinado, em um mundo representado por um estado diferente."[23]

Este processo de condução de atividades de engenharia geradoras de mudanças é dividido por Mitcham[24] em sete tipos, que podem ser agrupadas em "produção" e "uso", como mostra a Figura 1.

---

[20] Koen, 1985, p. 1, tradução nossa.
[21] Silva, 2011.
[22] Koen, 1985.
[23] Koen, 1985, p. 3, tradução nossa.
[24] Mitcham, 1994.

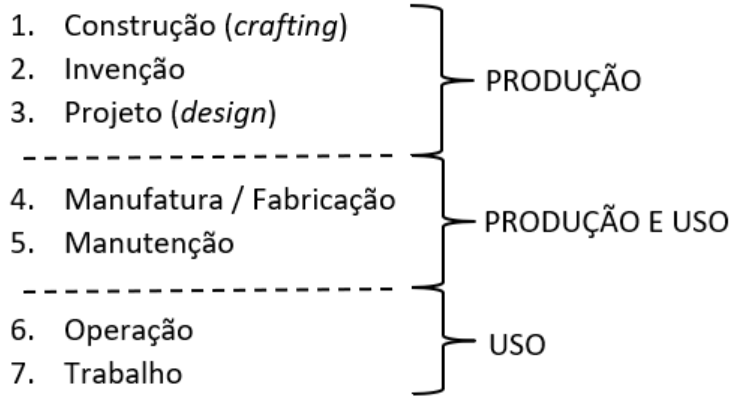


Figura 1 – Tipos de atividade de engenharia[25]

Para se alcançar êxito nestas tarefas Koen[26] enumera três dificuldades eminentes do ato de produção de mudanças. Inicialmente ao se dispor para desenvolver uma estratégia de mudança o engenheiro se depara com a falta de especificações e definições acerca do problema a ser resolvido, o que condiz com a necessidade de examinar em primeiro lugar como a invenção e o Projeto (design) fazem parte do trabalho do engenheiro.

Buscando oferecer um conceito teórico para o ato de projetar, Friedrich Dessauer, partindo da origem do termo inventar que se origina do latim "*invenire*", que significa "encontrar" ou "descobrir", defende a existência de um "reino transcendente de soluções pré-estabelecidas para problemas técnicos"[27]. Sobre o próprio ato de inventar o filósofo e matemático britânico Alfred North Whitehead afirma que "a grande invenção do século XIX foi a invenção do método de invenção."[28]

---

25 Adaptado de Mitcham, 1994, p. 210.
26 Koen, 1985.
27 Mitcham, 1994, tradução nossa.
28 Whitehead, 2011 apud Mitcham, 1994, tradução nossa.

De acordo com Mitcham[29] o projeto (design) pode ser descrito como

> a tentativa de resolver em pensamento, usando o conhecimento disponível, problemas de fabricação para economizar trabalho (tanto como materiais ou energia), seja no artefato a ser produzido, o processo de produção ou ambos.[30]

Levando em consideração tais definições deve-se buscar compreender o "modo como os projetos tecnológicos são gerados"[31], isto é, a metodologia de projetos de engenharia. Segundo De Vries[32] usualmente entende-se o projeto como uma solução que atende uma lista de requisitos e é implementada na sociedade.

Deste modo muitos autores[33] reconhecem três procedimentos principais no desenvolvimento do ato de inventar ou elaborar um projeto: análise, síntese e avaliação. Verkerk[34] afirma:

> Primeiramente, o problema é analisado, o que leva a um programa de requisitos [análise], subsequentemente as soluções em potencial são 'integradas' [síntese], após o que o projetista avalia as possíveis soluções com referência ao programa de requisitos [avaliação].

A segunda dificuldade enumerada por Koen[35] intrínseca ao trabalho do engenheiro de realizar mudanças está relacionada ao número de alternativas disponíveis e as limitações impostas por diferentes restrições. Devido tais limitações advindas dos âmbitos políticos, sociais e ambientais[36] é de extrema importância a compreensão de como o ato direto de "produção" e "uso" estão intimamente ligados às mudanças ocasionadas pelo

---

29 Mitcham, 1994.
30 Mitcham, 1994, p. 220, tradução nossa.
31 Verkerk, 2018.
32 De Vries, 2005.
33 Pahl e Beitz, 2013.
34 Verkerk, 2018.
35 Koen, 1985.
36 Winner, 1989.

trabalho dos engenheiros. Schumacher[37] começa seu livro "*Small is Beautiful: A Study of Economics As If People Mattered*" questionando propositalmente nosso pressuposto de que a produção é um problema resolvido em nossa sociedade.

Por fim Koen[38] afirma que a terceira dificuldade presente no processo de produção de mudanças por meio das atividades de engenharia envolve o tempo do projeto, ou seja, o período entre a definição do problema e a conclusão do empreendimento. No decorrer da execução de um projeto de engenharia "as mudanças geralmente ocorrem no objetivo final, o que requer uma reorientação do projeto em seu curso."[39]

Com a falta de informações satisfatórias sobre o escopo final, a forma desejada de transição entre a concepção inicial e a conclusão do projeto, combinadas com as possíveis mudanças no projeto final, conduzem o engenheiro à necessidade de considerar as diversas incertezas existentes em sua tarefa de produção de mudanças.

2.1.2 Consideração dos Recursos Disponíveis

O segundo conceito fundamental que deve ser abordado para compreensão do método da engenharia é a consideração dos recursos disponíveis por parte do engenheiro. Este sempre deve buscar a melhor mudança com os recursos disponíveis.

> A segunda característica de uma situação que requer os serviços de um engenheiro é que a solução desejada deve ser consistente com os recursos disponíveis. Infelizmente, o engenheiro não pode selecionar o melhor caminho entre todas as transições imagináveis do estado inicial para o estado final. Restrições físicas, econômicas e políticas sempre existem.[40]

Schumacher[41] ao abordar o problema da limitação dos recursos em relação ao crescimento econômico faz referência a

---

37 Schumacher, 2010.
38 Koen, 1985.
39 Koen, 1985, p. 5, tradução nossa.
40 Koen, 1985, p. 6, tradução nossa.
41 Schumacher, 2010.

dois questionamentos fundamentais que devem ser considerados nos processos executivos de todo empreendimento engenheiril. Em primeiro lugar a verificação da disponibilidade dos recursos básicos e adicionalmente a capacidade do meio-ambiente em fazer frente ao nível de interferência implícita.

A aceleração do ritmo produtivo em operações minerárias, ocasionada em grande parte pelo acelerado desenvolvimento tecnológico desde a Revolução Industrial, têm "diminuído as possibilidades de regeneração dos recursos renováveis" acarretando o "desaparecimento ou extinção desses recursos por meio de uma utilização predatória."[42] Deste modo a exploração de tais recursos deve ocorrer de modo racional em consideração com as gerações futuras.[43]

Em sua caracterização do "homem ocidental" o filósofo político francês Bertrand de Jouvenel fornece uma justa descrição do atual pensamento que permeia a relação do moderno economista e do engenheiro com os recursos disponíveis:

> Ele tende a não computar coisa alguma como dispêndio, exceto o esforço humano; não lhe parece importar quanta matéria mineral desperdiça e, pior ainda, quanta matéria viva destrói. Não parece dar-se conta absolutamente de que toda vida humana depende de um ecossistema de muitas diferentes formas de vida. Como o mundo é governado de cidades onde os homens se acham desligados de qualquer outra forma de vida que não a humana, o sentimento de pertencer a um ecossistema não é revivido. Isso resulta em um tratamento implacável e imprevidente de coisas das quais em última análise dependemos, tais como a água e as árvores.[44]

A geração de rejeitos e consequentemente o manejo e gestão dos mesmos é outro enorme desafio a ser enfrentado por engenheiros, pois o caráter limitado dos recursos disponíveis não permite que a rentabilidade, em termos exclusivamente financeiros, seja o único critério a ser considerado na avaliação de novos projetos. Esta consideração pode conduzir a abdica-

---

42 Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016, p. 2.

43 Jonas, 2006.

44 Gregg, 1958 apud Schumacher, 2010, p. 44, tradução nossa.

ção de determinados empreendimentos, mas pode igualmente significar a alteração ou a elaboração de propostas alternativas.[45]

Entretanto, em sua definição do método de engenharia Koen[46] considera não somente os recursos naturais conforme é costume de muitos, mas o que ele intitula de "verdadeiros recursos".

> Um problema em engenharia é definido e limitado por seus recursos, mas os verdadeiros recursos devem ser considerados. Porque nós tendemos a pensar somente em termos dos recursos esgotáveis, porque nós confundimos recursos nominais e reais e porque nós desconsideramos a eficiência de alocação de recursos e a possibilidade de trocar um tipo pelo outro, geralmente os recursos verdadeiros são difíceis de determinar.[47]

Acentuando a importância fundamental do estabelecimento de quais são os verdadeiros recursos de um problema de engenharia Koen menciona como exemplo de um recurso não esgotável a própria "experiencia prévia com problemas similares"[48] ou até mesmo o número de colaboradores a disposição, o grau de educação dos mesmos e o tempo e dinheiro disponíveis para conclusão do projeto.

> Em vez de procurar a resposta para um problema, como o cientista faz, o Engenheiro procura uma resposta para o problema que seja consistente com os recursos disponíveis para ele.[49]

2.1.3 A Melhor Mudança Possível

A próxima característica do método da engenharia requer do engenheiro que a solução definida para execução do projeto seja a melhor levando em consideração os fatores envolvidos, ou seja, encontrar uma "solução ótima" do problema apresenta-

---

45 Francisco, 2015.
46 Koen, 2003.
47 Koen, 2003, p. 15, tradução nossa.
48 Koen, 2003, p. 14, tradução nossa.
49 Koen, 1985, p. 7, tradução nossa.

do.[50] Koen dedica a maior parte de sua atenção a este elemento, considerando ser um tema do qual se resultam importantes desdobramentos "na noção de Melhor do ponto de vista da Filosofia Ocidental, que provêm da noção platônica da forma ideal."[51]

É importe ressaltar que o conceito de melhor na prática da engenharia não se refere ao melhor enquanto uma característica absoluta e universal, mas ao melhor que se encontra ao alcance das possibilidades e limites apresentados[52].

O conceito de melhor de Vincenti se harmoniza com essa ideia ao afirmar que:

> Ainda que eles provavelmente se vejam como otimizadores, no final das contas, por conta das complexidades e incertezas dos problemas, eles chegam até nada mais do que aquilo que Herbert Simon chamaria de "satisfatório", isso é, não a de fato melhor solução, mas uma que seja satisfatória.[53]

Considerar que determinado artefato tecnológico ou metodologia adotada no processo de engenheirar é melhor do que outra é incorreto se o qualificativo melhor estiver sendo utilizado no sentido da engenharia. "Ambas são soluções ótimas para diferentes projetos de design específicos."[54] Assim, o ótimo obtido não tem por pretensão ser o "melhor em absoluto, mas somente o melhor relativo a sociedade para a qual se aplica."[55]

Essa visão converge com a ideia de engenharia apresentada por Cupani ao asseverar:

> A engenharia (enquanto epítome da tecnologia) pode assim ser definida como "um esforço sistemático para economizar esforço", que se norteia pelo valor da eficiência, ou seja, de um de-

---

50 Koen, 1985.
51 Silva, 2011, p. 67.
52 Koen, 2003
53 Vincenti, 1993, p. 220, tradução nossa.
54 Koen, 1985, p. 8, tradução nossa.
55 Koen, 1985, p. 9, tradução nossa.

> sempenho em que esforço e resultado respondam a uma relação satisfatória.[56]

Um dos principais pensadores que se destaca na crítica da busca ilimitada pela eficiência e pela melhor solução é o filósofo francês Jacques Ellul, em seu livro "A Técnica e o Desafio do Século" ele descreve o fenômeno técnico como a busca do melhor meio em todos os âmbitos e o acúmulo de tais meios é o que produz uma sociedade técnica.[57]

A eficiência é tida como a singular regente no processo de tomada de decisões, assim, com o intuito de majorar os aspectos eficientes de seus resultados a técnica sempre irá progredir, ainda que seja necessário suplantar os direitos homem e do meio ambiente.[58]

A partir da exposição feita por Koen[59] é necessário avaliar como se dá o processo de escolha pela melhor opção. Segundo Mitcham[60] o processo de tomada de decisão executado por engenheiros em busca da maior eficiência não pode ser moralmente neutro. Com o objetivo de auxiliar nesta tarefa a Figura 2 apresenta "o papel da ação humana na esfera técnica e a neutralidade dos meios técnicos."[61]

---

56 Cupani, 2016, p. 20.
57 Ellul, 1968.
58 Ibidem.
59 Koen, 1985; 2003.
60 Mitcham, 1994.
61 Borges, 2016, p. 312.

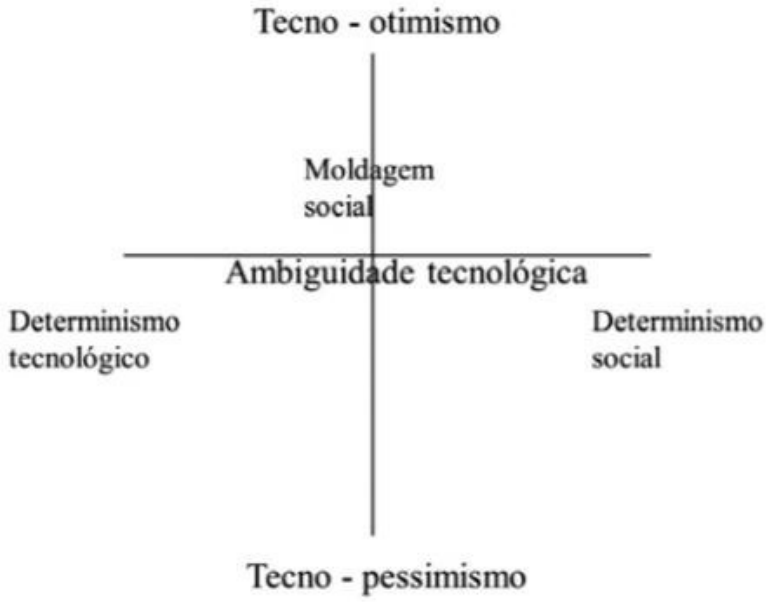


Figura 2 – Mapa de posições típicas sobre tecnologia[62]

Em seu papel de escolher a melhor solução possível para alcançar sucesso em um determinado empreendimento o engenheiro deve se deparar com importantes questionamentos quanto a possibilidade de controle que ele exerce nesta escolha e a questionável neutralidade tecnológica.[63] Deste modo, com o objetivo de lidar com estas questões, o filosofo americano Andrew Feenberg[64] em seu livro "*Questioning technology*", evidencia a relação de impacto entre a sociedade, da qual o engenheiro faz parte, e a tecnologia, incluindo as metodologias de escolha pela solução mais eficiente.

---

62 Borges, 2016, p. 315.
63 Borges, 2016.
64 Feenberg, 1999.

No mapa de posições típicas da tecnologia em um dos extremos do eixo horizontal situa-se a posição de "determinismo tecnológico". Esta corrente de pensamento defende que "a tecnologia impacta uma cultura de uma maneira de mão única, determinista"[65], isto é, os engenheiros exercem pouca ou nenhuma influência no processo de tomada de decisão, considerando que a "tecnologia tem uma força autônoma que, na verdade, guia e determina seu próprio desenvolvimento"[66]. Em outro extremo do mapa situa-se a posição do "determinismo social", também conhecido nos estudos da filosofia da tecnologia como instrumentalismo. Os apologistas desta corrente filosófica compreendem a tecnologia como ferramentas que se encontram a disposição do engenheiro para serem utilizadas para "o bem ou para o mal, dependendo dos desejos do indivíduo ou cultura que adaptam tal tecnologia."[67]

As posições apresentadas representam extremos do pensamento da influência do engenheiro no processo de decisão pela melhor solução e pela utilização de determinadas tecnologias, entretanto é preciso considerar que a maioria dos pensadores se posiciona entre os extremos, na posição conhecida por perspectiva de moldagem social. Esta perspectiva adota para si considerações levantadas em ambas as posições situadas nos extremos do mapa. De acordo com Borges

> tecnologias certamente afetam uma cultura de maneiras significativas. No entanto, casos históricos também apontam claramente que engenheiros e culturas possuem papéis importantes em remodelar estas tecnologias para encaixar melhor em seus valores sociais existentes. A visão de moldagem social da tecnologia vê tecnologia e cultura como "mutuamente constitutiva", cada um criando e moldando o outro.[68]

---

65 Borges, 2016, p. 314
66 Ibidem.
67 Ibidem.
68 Borges, 2016, p. 315.

O eixo vertical representa "a atitude moral de um autor com relação à mudança tecnológica."[69] Um dos extremos deste eixo indica o pensamento dos tecno-otimistas, os quais exacerbaram o caráter salvador e utópico dos novos desenvolvimentos tecnológicos apoiando veementemente a aplicação de novas tecnologias para resolução de todos os problemas e disponibilização da melhor solução. No extremo oposto se encontra a posição dos tecno-pessimistas que sustentam uma visão da tecnologia como causadora de destruições e perdas. Em casos como em acidentes com barragens de rejeitos os tecno-pessimistas enfatizam o mal causado pelo avanço da sociedade tecnológica e os prejuízos advindos da percepção dos recursos como uma "reserva permanente" a ser manipulada ou rearranjada conforme aprouver o homem.[70]

Levando em consideração o caráter multifacetado da engenharia apresentado até o momento, seus projetos e o contexto no qual estão inseridos, nota-se que o processo de escolha pela melhor solução dentro dos limites impostos é de grande complexidade. Desse modo Koen defende a participação da população em tal procedimento, tendo em vista maximizar a abordagem do problema.

> O público tem o direito (eu diria obrigação) de ajudar a selecionar os problemas a serem resolvidos, os principais critérios de projeto, as funções de retorno e os pesos relativos, [...] é ingênuo criticar uma solução ótima do Engenheiro baseado em um conjunto reduzido de critérios sem justificar a redução.[71]

2.1.4 Incertezas nos Problemas em Engenharia

Como último conceito fundamental na definição do método da engenharia Koen[72] apresenta o tema da carência de informações, ou incertezas nos projetos de engenharia. Segundo Silva a incerteza nas diversas situações do trabalho engenheiril po-

---

69 Ibidem.
70 Verbeek, 2005.
71 Koen, 1985, p. 11, tradução nossa.
72 Koen, 1985; 2003.

dem ser subdivididas em três fatores, i.e, “Problemas em engenharia são mal estruturados”, “Problemas em engenharia são de final aberto” e “Seu contexto de definição é social”.[73]

Considerando o primeiro fator apresentado, Koen[74] afirma que a ausência de informações “necessárias para a solução”[75] conduz a má estruturação dos problemas em engenharia. De acordo com Silva em muitas ocasiões as informações necessárias são desconhecidas do engenheiro pela sua inexistência, pelos elevados custos para obtenção das mesmas ou por sigilo, o que impede o interlocutor de divulgá-las.

Além de tais restrições para a obtenção de informações De Vries[76] também adverte sobre a identificação de algumas dificuldades com as quais o engenheiro se depara na tarefa de executar ou elaborar um determinado projeto em relação aos seus requisitos. Em primeiro lugar os requisitos podem sofrer variações com o tempo e com a diferença entre os contextos de aplicação, e também os muitos fatores podem interferir entre si de maneiras imprevisíveis no momento da execução, comportamento este que é denominado de emergente nas discussões sobre sistemas complexos.

A segunda subdivisão feita por Silva define os “problemas de engenharia como de fim aberto, ou seja, problemas que admitem mais de uma solução”[77]. Segundo Dym:

> Eles tipicamente possuem várias soluções aceitáveis. A unicidade, tão importante em muitos problemas de matemática e análise, simplesmente não se aplica a soluções de projeto. Na verdade, é muito frequente que os projetistas trabalhem para reduzir ou limitar o número de soluções de projeto que eles consideram para que não sejam oprimidos pelas possibilidades.[78]

---

73 Silva, 2011, p. 68
74 Koen, 2003.
75 Silva, 2011, p. 68.
76 De Vries, 2005.
77 Silva, 2011, p. 68.
78 Dym et al, 2009, p. 10, tradução nossa.

As muitas possibilidades relacionadas a solução dos problemas da engenharia se encontram em constante diálogo com a busca pelo melhor caminho a ser trilhado, conforme explorado anteriormente. Pode-se admitir soluções melhores em um determinado critério enquanto esta escolha acarreta a redução de qualidade ou custos em outro critério, ampliando, assim, as alternativas disponíveis.[79]

Conforme apresentado por Ortega y Gasset[80], em épocas antigas o nível de consciência das capacidades, restrições e limites impostos era evidente, assim após a conjecturar sobre de um projeto o "engenheiro" passaria um longo tempo "tentando resolver, por exemplo, os problemas técnicos necessários para a realização desse projeto."[81]

> Na atualidade, segundo Ortega, as ilimitadas possibilidades que a tecnologia abre diante nós e a facilidade de sua realização anulam o desafio dos projetos humanos e apagam o brilho da vontade individual.[82]

O terceiro e último dos fatores sobre a percepção da incerteza se refere aos problemas como "construtos sociais", ou seja, são socialmente construídos, "onde não é apenas o projetista que define o que é o problema e qual é a melhor solução."[83] Com o intuído de negociar qual é o real problema e a melhor solução a ser adotada pelos engenheiros é necessário estabelecer vias de diálogo "com a direção das organizações, trabalhadores, beneficiários e eventuais prejudicados com os resultados do projeto"[84], exibindo um peso decisivo nas interações sociais.

Além dos fatores apresentados por Silva[85], e em conformidade com a utilização do conceito de incerteza na definição do

---

79 Silva, 2011.
80 Ortega y Gasset, 1963.
81 Palacios et al., 2003, p. 59.
82 Palacios et al., 2003, p. 59 apud Mitcham, 1994.
83 Silva, 2011, p. 69.
84 Silva, 2011, p. 69.
85 Silva, 2011.

método de engenharia, Weinberg[86] "se refere à impossibilidade de extrapolar o comportamento dos protótipos para o comportamento dos sistemas em escala real sem uma perda de precisão."[87]

> Segundo Weinberg, a engenharia é um campo que se desenvolve tão rapidamente que habitualmente requer que sejam tomadas decisões baseadas em dados incompletos. Os engenheiros trabalham submetidos à dureza de apertadas agendas e rígidos orçamentos, e por isso não se podem permitir ao luxo de examinar cada uma das questões ao nível que o rigor científico exige. Há ocasiões em que um projeto tem de esperar os resultados de investigações científicas futuras. No entanto, o cientista precisa tomar as decisões sobre uma base incompleta dos dados de que dispõe. Isto é, a incerteza é inerente à engenharia (Weinberg, 1972, p. 6). Os engenheiros se movem em contextos de incertezas sempre que se veem envolvidos trabalhando com protótipos. Quando se trabalha com protótipos sempre aparece o risco da perda de precisão na hora de extrapolar os dados a situações reais.[88]

É necessário que o engenheiro esteja sempre ciente das limitações e incertezas impostas pela utilização de modelos reduzidos. Segundo Verkerk[89] tais modelos "representam uma realidade complexa de maneira simplificada", devendo, assim, sempre serem tratados com precaução.

2.2 O Impacto da Filosofia na Engenharia

Com o intuito de construir vias diálogo entre o pensamento filosófico e o trabalho da engenharia, como apresentado até o momento, o filosofo da tecnologia Carl Mitcham[90] aponta para o caráter essencialmente filosófico de tal profissão ao citar os estudos etnográficos do engenheiro Luis Bucciarelli:

---

86 Weinberg, 1972.
87 Palacios et al., 2003, p. 28.
88 Ibidem.
89 Verkerk, 2018, p. 175.
90 Mitcham, 2017.

> Como observa Louis Bucciarelli em seus estudos etnográficos de engenheiros, quando os alunos estão resolvendo problemas de engenharia, geralmente se pensa que eles "não deveriam ficar atolados em diversões" filosóficas "inúteis." Como observa em mais de uma ocasião, no domínio da engenharia, a filosofia tem conotações negativas. No entanto, na conclusão de seu estudo, o engenheiro Bucciarelli, tendo argumentado que a concepção de projeto de engenharia é um processo social, aponta como isso significa que existem alternativas. Quando há alternativas, ele diz, então pode haver melhor e pior. Em tal situação, "A questão realmente importante e interessante se torna: o que queremos dizer com um projeto melhor?" Mas tal questão é eminentemente filosófica.[91]

É de claro conhecimento que os engenheiros são, em sua maioria, profissionais de mentalidade prática enquanto a filosofia é em sua essência antagônica a esta forma de ver o mundo.[92] Entretanto a "reflexão filosófica sobre a tecnologia é particularmente útil" auxiliando na tarefa de "definir seu próprio pensamento e conduta técnica".[93] Deste modo os engenheiros devem ser reconhecidos, nas palavras de Donald Schön, como "praticantes reflexivos"[94].

De acordo com Spier a filosofia é um tipo de conhecimento científico específico e fundamental, distinguindo-se das demais ciências particulares por sua tarefa de examinar as totalidades, em toda inteireza e nas interrelações de mutualidade.[95]

É evidente que a filosofia não tem concedido a atenção devida à engenharia, porém muitos engenheiros têm utilizado este motivo, entre muitos outros, como desculpas para ignorar o estudo e a reflexão filosófica. Entretanto, apesar desta preterição o filósofo da tecnologia Carl Mitcham enumera três razões fundamentais pelas quais este desprezo é prejudicial para o trabalho de engenharia e necessita ser reavaliado.

> Primeiro, a filosofia é necessária para que os engenheiros possam compreender e defender-se contra as críticas filosóficas. Na verdade, há uma tradição da filosofia da engenharia que é largamente ignorada, mesmo por engenheiros. Segundo, a filosofia, especialmente a ética, é necessária para ajudar os engenheiros a

[91] Mitcham, 2017, p. 11, tradução nossa.

> lidar com problemas profissionais éticos. Um estudo de caso dos requisitos éticos para os currículos de engenharia dos Estados Unidos corrobora este ponto. Terceiro, por causa do caráter inerentemente filosófico da engenharia, a filosofia pode realmente funcionar como um meio para um maior auto compreensão da engenharia.[96]

Em acréscimo às razões mencionadas deve-se evidenciar igualmente a diferenciação entre três funções claras da filosofia e a maneira como elas podem contribuir para o trabalho da engenharia. Em primeiro lugar a filosofia possui uma função analítica que visa auxiliar os profissionais de engenharia no

---

92 Nota do Autor (2026): Ao escrever este texto, aceitei sem maiores questionamentos a ideia relativamente difundida de que existe uma tensão natural entre a mentalidade prática característica da engenharia e a natureza supostamente abstrata da filosofia. Hoje considero essa afirmação verdadeira apenas para determinadas tradições filosóficas, especialmente aquelas fortemente influenciadas pela herança grega, nas quais a atividade filosófica é frequentemente compreendida como busca de conhecimentos universais, formulação de sistemas conceituais abstratos ou contemplação teórica da realidade. Estudos posteriores levaram-me a reconhecer que essa não é a única forma possível de compreender a filosofia. Em tradições derivadas do pensamento hebreu, por exemplo, a reflexão filosófica encontra-se mais diretamente vinculada à vida concreta, às responsabilidades humanas, às relações sociais e às condições necessárias para o florescimento das comunidades. Sob essa perspectiva, filosofia e prática não constituem atividades antagônicas, mas dimensões complementares de uma mesma busca por compreender e orientar a ação humana. Em retrospecto, considero que a principal contribuição da filosofia para a engenharia não está na produção de teorias cada vez mais abstratas sobre a realidade, mas na capacidade de ajudar profissionais e comunidades a discernirem como o conhecimento técnico pode servir à vida humana concreta. Para discussões relacionadas à distinção entre as tradições grega e hebraica do pensamento, bem como às implicações dessa diferença para a Filosofia Social e o Pensamento Sistêmico Multimodal, ver Boman (1970), Hazony (2012), Yoran (2011), De Raadt (2013; 2017) e Perdigão (2025).

93 Verkerk et al., 2018.

94 Schön, 1983.

95 Spier, 2019.

96 Mitcham, 2017, p. 1.

"desenvolvimento de quadros de referência conceituais."[97] Um segundo papel da filosofia é capacitar os engenheiros para que estes desenvolvam um olhar crítico "do papel que a tecnologia exerceu, ainda exerce e exercerá na cultura e na sociedade."[98] Por fim, a função direcional da filosofia está incumbida da tarefa de instruir os profissionais da engenharia em relação a problemas encontrados na ética da tecnologia e se "expressar normativamente sobre o desenvolvimento da tecnologia moderna"[99] de forma a refletir "sobre métodos criativos de superar um dilema."[100]

Este entendimento é de fundamental importância para o engenheiro em sua formação acadêmica e profissional, considerando que este contribui ativamente na produção de artefatos e da mentalidade técnica que compõe o atual e futuro universo. Em seus estudos sobre a relevância da instrução filosófica no ensino da engenharia o engenheiro eletricista, filósofo e professor adjunto da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Flávio Macedo Cunha, afirma:

> Um breve olhar por alguns currículos de graduação em engenharia no Brasil, nos permite constatar a presença de disciplinas voltadas para a área das humanidades e ciências sociais o que pressupõe a existência, nesses currículos, de espaços para a reflexão e análise crítica de temas relacionados às questões da tecnologia e da engenharia. Esta constatação reforça nossa tese em relação à importância da abordagem desta temática como um dos pontos fundamentais para a formação plena do engenheiro.[101]

Ao se engajar com a execução de um projeto o engenheiro é confrontado com pontos fundamentais na complexidade da tecnologia. Inserido neste contexto de complexidades o engenheiro apresenta certo conhecimento tecnológico que foi classificado por Vincenti[102] como o conhecimento dos conceitos funda-

97 Verkerk et al., 2018, p. 28
98 Verkerk et al., 2018, p. 29
99 Verkerk et al., 2018, p. 30
100 Verkerk et al., 2018, p. 38
101 Cunha, 2004, p. 10
102 Vincenti, 1993.

mentais de planejamento, dos critérios e especificações, dos dados quantitativos, das ferramentas teóricas, de considerações práticas e por fim o conhecimento de instrumentalidades de planejamento.

Vincenti ainda distingue entre diferentes atividades geradoras para alcançar a obtenção de diferentes tipos de conhecimento, entre elas ele menciona o aprendizado das ciências naturais, a invenção de novos métodos, processos e conhecimentos, a pesquisa teórica, a pesquisa experimental, a experiência em projetos e produção e as tentativas diretas de aplicação de ideias.[103]

De acordo com Verkerk o fato mais importante na distinção entre estes tipos de conhecimento e atividades é que as ciências naturais exercem contribuição em "dois tipos de conhecimento, a saber, com auxílios teóricos e com dados quantitativos"[104], o que o leva à conclusão significativa de que a engenharia não necessita somente de conhecimentos provindos das ciências naturais, mas de uma abordagem da realidade que inclua a reflexão filosófica e a "experiência direta da realidade tecnológica."[105]

Finalmente cabe destacar que o pensamento teórico-filosófico também está presente na metodologia de projetos, a qual tem por objetivo estudar "o modo no qual o projeto é concebido, em particular os métodos utilizados para isso."[106] Deste modo o campo de estudo da metodologia, como uma subdivisão da filosofia da ciência, possui um sólido caráter normativo, focalizando no modo como engenheiros e projetistas deveriam trabalhar e as maneiras como os mesmos executam seu trabalho na prática.

---

[103] Verkerk et al., 2018.
[104] Verkerk et al., 2018, p. 151.
[105] Ibidem.
[106] Verkerk et al., 2018, p. 167.

2.2.1 A Filosofia Engenheiril da Tecnologia

Tendo percebido o real impacto que a reflexão teórico-filosófica exerce sobre o trabalho da engenharia deve-se focalizar em um dos campos de estudo que se dedicam à análise de tais impactos, a Filosofia da Tecnologia.

A tecnologia é um fenômeno que muitas vezes aparenta ser recente, mas possui uma gênese verdadeiramente remota. O engenheiro civil Egbert Schuurman defende que a humanidade e a tecnologia sempre caminharam unidas. Pode-se perceber a veracidade desta informação na tendência de descrevermos a história humana em termos do presente estado da tecnologia: a idade da pedra, a idade do bronze, a era do metal, a era atômica, a era da informática.[107]

Igualmente Freitas[108] argumenta que as reflexões filosóficas a respeito do significado da tecnologia e as aplicações práticas das mesmas no trabalho do artesão e do artista têm sido feitas desde a Grécia antiga com o uso de termos como *techne* e *poiêsis*[109] e se mantiveram exercendo grande influência durante o período do império romano e a Idade Média. Entretanto tal reflexão foi aprofundada somente após o período do Renascimento, devido, em grande parte, aos avanços tecnológicos ocorridos nessa época.[110]

Esta busca filosófica por compreender o significado, as implicações e muitas outras características da engenharia é escopo de estudo da filosofia da tecnologia e "pode ser convenientemente analisada em três estágios de crescimento."[111] Inicialmente, a partir do início do século XX eminentes escritores iniciaram a indispensável tarefa de "abordar filosoficamente – mesmo não sendo filósofos profissionais – o, então, proeminente fenômeno da tecnologia no contexto da sociedade industrial."[112] Dentre os principais contribuintes representativos des-

[107] Schuurman, 2016a.
[108] Freitas et al., 2019.
[109] Feenberg, 2006.
[110] Freitas et al., 2019.
[111] Verkerk et al., 2018.
[112] Freitas et al., 2019, p. 2.

ta escola torna-se necessário mencionar o primeiro filosofo a fazer uso do termo "Filosofia da tecnologia", o alemão Ernst Kapp (1808 – 1896), que publicou no ano de 1877 o livro intitulado "*Grundlinien einer Philosophie der Technik*" [Princípios básicos de uma filosofia da tecnologia] onde o mesmo defendia que se "poderia ver a tecnologia como um complemento do corpo humano"[113] ou diferentes classes de projeções dos órgãos humanos. Algumas décadas à frente engenheiros como o russo Peter K. Engelmeier (1855 – 1941) passaram a adotar o termo "Filosofia da tecnologia" em seus trabalhos onde eram exigidas aplicações concretas e análises sistemáticas da atuação engenheiril no mundo.[114]

De acordo com Engelmeier os engenheiros e tecnólogos têm por ideia que a meta de seu trabalho é sumarizada na elaboração e fabricação de "produtos tecnológicos úteis"[115], enquanto esta é apenas uma pequena parte de suas atividades considerando que estes formam parte "dos postos mais altos dentro do status social, transformando-se inclusive em homens de poder". Deste modo estabelece-se "a questão de se os técnicos e engenheiros modernos estão preparados para responder a estas novas demandas."[116]

> Só depois de compreender as interações que se dão entre a tecnologia e a sociedade é que se pode responder a esta questão. Neste sentido, Engelmeier aposta num trabalho interdisciplinar, em que técnicos, engenheiros e filósofos trabalhem em estreita colaboração com o objetivo de esclarecer o conceito de tecnologia, de forma que se possa evitar que o que escrevem os pensadores careça de rigor técnico, e que o que escrevem os engenheiros não tenha o suficiente rigor analítico.[117]

Em sequência a estes primeiros pensadores da Filosofia Engenheiril da Tecnologia emergiu em meio aos estudos da relação entre o desenvolvimento tecnológico e o estado da socie-

[113] Verkerk et al., 2018, p. 32.
[114] Mitcham, 1994, p. 26, tradução nossa.
[115] Palacios et al., 2003, p. 51.
[116] Ibidem.
[117] Ibidem.

dade o que ficou conhecido como a tradição clássica da Filosofia da Tecnologia ou Filosofia da Tecnologia "das humanidades"[118]. Dentre os maiores exponentes desta vertente deve-se fazer menção aos alemães Martin Heidegger, Karl Jaspers, o francês Jacques Ellul, o espanhol José Ortega y Gasset e o estadunidense Lewis Mumford.[119]

Próximo do final da década de 1980 a referida tradição clássica da Filosofia da Tecnologia passou a ser arguida a partir de várias perspectivas como resultado da "virada empírico-analítica" que enfatizou a empiria e a análise da tecnologia em si mesma, cujo interesse primordial

> recai sobre a definição rigorosa de conceitos e o relacionamento lógico entre eles, para a descrição – minimamente avaliativa ou prescritiva – das práticas tecnológicas (i.e. análise metodológica), dos saberes nelas envolvidos (i.e. análise epistemológica) e dos artefatos delas resultantes (i.e. análise ontológica).[120]

Assim, as três tradições referidas definem o atual panorama da Filosofia Engenheiril da Tecnologia em seu nível de maturidade acadêmica e aplicabilidade no trabalho da engenharia.

2.2.2 A Escola Holandesa de Filosofia da Tecnologia

Nesta busca filosófica por compreender o significado, as implicações e muitas outras características da profissão do engenheiro percebe-se que a escolha pelos melhores métodos, recursos disponíveis e metodologias segue muitas vezes um caráter reducionista por meio do qual para o engenheiro apenas o que é compatível com o método de quantificação é digno de confiança e respeito.[121]

A ideia de um argumento antirreducionista da realidade foi primeiro desenvolvida pelo filósofo e professor da Universidade Livre de Amsterdã, Herman Dooyeweerd, e posteriormente aprimorado pelo professor emérito do College of New Jersey,

---

[118] Mitcham, 1994.
[119] Freitas et al., 2019.
[120] Freitas et al., 2019, p. 5.
[121] Schuurman, 2018.

Roy Clouser[122] e pelo filósofo Sul-Africano Daniel Strauss, editor-chefe do projeto de tradução e publicação de todas as obras de Dooyeweerd.[123]

Baseando seu argumento em uma visão cristã da realidade, Clouser[124] afirma que "tudo o que não é Deus é a sua criação e nada na criação, sobre a criação, ou verdadeiro da criação é autoexistente", deste modo, o princípio da sua teoria antirreducionista é sumarizado na afirmação de que nenhum dos aspectos da criação "deve ser considerado, seja como o único aspecto genuíno ou como tornando a existência de qualquer outro aspecto possível ou atual."[125] Assim se compreende também o papel da filosofia como o de realizar investigação e uma abordagem da diversidade, das dimensões, e das inter-relações do cosmo.[126]

Assim, tal argumento deve ser entendido em um sentido metafísico de redução, "de acordo com o qual tudo no cosmos é compreendido como tendo apenas propriedades do tipo X e como sendo governado apenas por leis do tipo X."[127] Semelhante atitude reduz todo o "conteúdo e a variedade do cosmos, ao eliminar dele todas as propriedades e leis de tipos não-X."[128]

As rejeições de todas as visões reducionistas possui diversas implicações, principalmente no que tange às explicações científicas que sustentam boa parte das pesquisas e aplicações na engenharia. Referindo-se ao pensamento de Roy Clouser, Carvalho afirma que:

> De acordo com Clouser, a estratégia mais comum, na explicação filosófica e científica, é a identificação de um dos aspectos da experiência com a realidade incondicionada. Ou seja, um dos tipos básicos de propriedades e leis identificados na abstração é utilizado como ponto de partida para explicar a origem dos ou-

[122] Clouser, 2018, p. 3.
[123] Strauss, 2009.
[124] Clouser, 2005, p. 241.
[125] Ibidem.
[126] Kok, 1998.
[127] Clouser, 2018, p. 1.
[128] Ibidem.

> tros, construindo-se, assim, uma explicação para a sua interconexão. Isso leva ao esforço de reduzir uma dimensão da experiência a outra. Clouser encaixa os argumentos reducionistas em duas alternativas principais: (1) a demonstração da dependência de um aspecto em relação a outro, ou redução fraca, e (2) a eliminação do aspecto, ou redução forte. Temos, portanto, que pressuposições metafísicas reducionistas constituem a base para teorias metafísicas e explicações científicas reducionistas.[129]

De acordo com Freitas[130], os principais elementos distintivos de tal escola filosófica, formulados e apresentados por Dooyeweerd[131], podem ser apresentados de modo didático em quatro conceitos basilares:

> Essa escola holandesa de filosofia da tecnologia está fundamentada, principalmente, na teoria dos aspectos modais (TAM), na teoria das estruturas de individualidade (TEI), na teoria dos motivos-base (TMB) e na crítica transcendental ao pensamento teórico (CTPT) propostas pelo eminente filósofo holandês Herman Dooyeweerd a partir de 1935.[132]

Deste modo, como fundamento do argumento antirreducionista apresentado e elaborado por Clouser e suas aplicações inerentes ao processo de inovação tecnológica e o trabalho da engenharia, é necessário apresentar o desenvolvimento de um esboço de uma teoria não reducionista da realidade e de uma crítica transcendental ao pensamento teórico (CTPT) com a finalidade de "explicar a natureza das coisas sem considerar nem um ou dois aspectos do cosmos como sendo a natureza daquilo que produz todas outras coisas."[133]

Na formulação de sua crítica transcendental ao pensamento teórico Herman Dooyeweerd posiciona-se de maneira favorável a Kant defendendo que a filosofia crítica necessita examinar as condições transcendentais que tornam a filosofia possí-

---

[129] Carvalho, 2006, p. 7.
[130] Freitas, 2017.
[131] Dooyeweerd, 2016a; 2016b.
[132] Freitas, 2017, p. 43.
[133] Clouser, 2018, p. 7.

vel e determinam seus limites.[134] Entretanto, a originalidade de seu pensamento se encontra na superação do pensamento kantiano, afirmando que tal investigação transcendental deve ser completa para ser crítica, isto é, ela não deve deixar nenhuma de suas pressuposições intocadas.[135] Deste modo, a Filosofia da Ideia Cosmonômica "tenta desnudar, consciente e metodicamente, as bases últimas do pensamento filosófico"[136], rejeitando a visão dogmática de que o pensamento é independente de pressuposições religiosas. O conceito básico de uma ideia cosmonômica deriva-se uma concepção criacional do cosmo que compreende que o mundo criado por Deus, é também governado por leis criadas por Ele, esta ideia de lei ordenadora do cosmos foi chamada por Dooyeweerd de cosmonomia, originando a terminologia Filosofia da Ideia de Lei (*Wijsbegeerte de Wetsidee*), também conhecida como Filosofia Reformacional e representada no presente trabalho com o que Roy Clouser chama de Teoria da Estrutura-de-Leis (*The Framework of Laws Theory*).

A crítica de Kant se mostra deficiente exatamente neste ponto, não aprofundando na análise total das condições que possibilitam o pensamento filosófico, e assume de forma dogmática certas posições básicas que determinam toda a sua filosofia.[137] A crítica de Dooyeweerd à Kant ocorre a partir da atitude do mesmo ao ignorar a coerência intermodal da realidade. Assim, a tradição dooyeweerdiana aprofundou

> a crítica kantiana à razão pura, argumentando que o pensamento teórico se fundamenta, não na razão em si (i.e. em categorias racionais apriorísticas), mas em um pressuposto suprateórico (i.e. uma ideia transcendental) referente a algo crido como sendo uma realidade incondicionada, fonte de todas as outras coisas – e, portanto, situado para além do domínio da justificação teórica.[138]

---

[134] Fontes, 2012.
[135] Oliveira, 2006.
[136] Kalsbeek, 2016, p. 149.
[137] Kalsbeek, 2016.
[138] Freitas, 2017, p. 59.

Para se tornar compreensível a posição defendida por Kant e o fundamento da crítica dooyeweerdiana é necessário seguir o desdobramento do pensamento denominado reformacional apresentando uma breve abordagem da teoria dos motivos-base (TMB). Segundo Dooyeweerd, durante o processo de revisar a história da filosofia, constatou-se que cada período da história era controlado por algum motivo básico que se tornava manifesto nesse período.[139]

Cada comunidade, segundo Dooyeweerd é, desse modo, unida por um espírito comum que conduz ativamente a vida dessa comunidade. O autor chamou esse poder de motivo-base religioso da cultura. Os motivos-base são, portanto, as forças motivadoras ou impulsos religiosos que dominam o desenvolvimento da cultura e, por conseguinte, da tecnologia, "responsável pelo direcionamento religioso do indivíduo e da sociedade."[140] Uma vez compreendido isto, Dooyeweerd classifica então quatro motivos-bases da cultura ocidental, a saber: 1. O motivo-base matéria/forma; 2. O motivo-base bíblico criação-queda-redenção; 3. O motivo-base escolástico natureza/graça; 4. O motivo-base humanista natureza/liberdade.[141]

Neste processo de abertura cultural percebe-se a clara influência do motivo- base dominante no exercício de poder do homem sobre a natureza, sendo ultimamente determinado pela fé das forças culturais em vigor.[142] Em suma, no seu relacionamento com a tecnologia e na prática da engenharia o ser humano está fundamentado em um motivo base que fornece um direcionamento especifico para a abertura de significado que ele busca no seu empreendimento tecnológico.[143]

No processo de desenvolvimento de sua teoria não reducionista da realidade Dooyeweerd expõe como a realidade se expressa através de uma diversidade modal (uma ontologia modal da realidade), não podendo ser caótica ou sem sentido. Esta

[139] Dooyeweerd, 2015.
[140] Oliveira, 2006, p. 88.
[141] Dooyeweerd, 2015.
[142] Kalsbeek, 2015.
[143] Freitas, 2017.

é composta de aspectos que são irredutíveis uns aos outros "cada qual significando e formando estruturas mais complexas, apresentando um funcionamento dinâmico caracterizado por uma coerência universal".[144] A formulação filosófica de tais conceitos é conhecida como teoria dos aspectos modais (TAM).

> Para desenvolver seu sistema filosófico, Dooyeweerd partiu da compreensão de que o papel da filosofia é o de investigar e abordar a diversidade, as dimensões, e as inter-relações do cosmo (KOK, 1998, p.1). Segundo ele, a diversidade encontrada na realidade empírica é possibilitada por diversos aspectos ônticos, modalidades – modos de ser fundamentais – que formam diversos tipos de leis naturais e princípios normativos criados e sustentados por Deus, e que juntos compõem uma cosmonomia. [...] As modalidades também possuem um núcleo de sentido, uma essência única e exclusiva, que qualificam os conjuntos de leis nelas presentes.[145]

Dooyeweerd identificou na realidade criada um total de quinze aspectos modais, entretanto deixou claro a possibilidade de que existam outros, desde que cada um deles possua um núcleo de significado irredutível. Estes aspectos e seus respectivos núcleos são apresentados conforme o Quadro 1.[146]

Quadro 1 – Aspectos Modais e os respectivos Núcleos de Significado

ASPECTO MODAL	NÚCLEO DE SIGNIFICADO
Numérico	Quantidade Discreta
Espacial	Extensão Contínua
Cinemático	Movimento
Físico	Energia e Matéria
Biótico	Vida e Vitalidade

[144] Oliveira, 2006, p. 85.
[145] De Britto, 2014, p. 35.

Psíquico	Sensação, emoção
Analítico	Distinção lógico-racional
Formativo	Poder Formativo
Lingual	Comunicação Simbólica
Social	Interação Social
Econômico	Administração Frugal de Recursos
Estético	Harmonia
Jurídico	Direitos, responsabilidades, "o que é devido"
Ético	Autodoação, cuidado
Fiducial/ Pístico	Crenças, aspirações, compromisso, confiabilidade

Embora seja possível distinguir entre cada um dos aspectos mencionados na realidade temporal, "eles nunca aparecem isoladamente, mas em uma coerência e mutualidade inseparáveis."[147] Assim, torna-se necessário primeiramente fornecer uma resposta consistente quanto à ordem, ou sequência, dos

[146] Nota do Autor (2026): Embora esta pesquisa adote predominantemente a formulação modal proposta por Herman Dooyeweerd, já se encontra registrada, ainda que de forma breve, a existência das adaptações desenvolvidas por J. Donald R. De Raadt. À época da elaboração deste trabalho, meu conhecimento dessas reformulações era limitado e sua utilização restringia-se principalmente a poucas referências bibliográficas. Estudos posteriores realizados sob orientação do Prof. De Raadt permitiram-me compreender melhor o alcance dessas modificações, especialmente sua aplicação à análise de comunidades, processos de desenvolvimento e sistemas sociais. Diferentemente do presente trabalho, que utiliza as modalidades principalmente como categorias filosóficas para avaliação de metodologias de gestão de rejeitos, pesquisas posteriores passaram a empregá-las como instrumento metodológico para investigação comunitária, com especial atenção aos vínculos existentes entre pessoas, famílias, organizações e comunidades. Para uma compreensão mais aprofundada das modificações realizadas na matriz modal de Dooyeweerd e de suas implicações metodológicas, ver De Raadt e De Raadt (2014), De Raadt (2013) e Perdigão (2025).

[147] Kalsbeek, 2015, p. 84.

aspectos modais, iniciando pelo numérico e findando com o aspecto fiducial ou pístico.

De acordo com Kalsbeek a adoção desta ordem não é uma escolha arbitraria, "mas indica qual dos aspectos forma a fundação para aqueles que se localizam mais acima na escala", não podendo ser considerada um ponto de partida, mas de chegada. Neste sentido, apenas após uma reflexão sobre características da realidade – como refletidas no próprio desenvolvimento das diversas disciplinas científicas, é que se chega a tal matriz. Sendo que "os aspectos modais fundantes são denominados esferas de substrato, e aqueles que estão baseados neles são chamados esferas de superstrato."[148]

Portanto, tais aspectos são tomados como "irredutíveis porque os seus respectivos significados não podem ser reduzidos ao significado de nenhum outro aspecto modal."[149] De acordo com Dooyeweerd[150] toda realidade criada é, deste modo, governada por estruturas modais distintas, cada qual possuindo seu núcleo de significado, sujeita à suas leis e não redutível a nenhuma outra.

> Isso não quer dizer que não haja inter-relação de significado entre os aspectos. Pelo contrário, há uma relação intermodal dinâmica de significado que Dooyeweerd chama de "esfera de universalidade", pois o significado de um aspecto não pode encerrar-se, auto-suficientemente, no seu próprio núcleo. Cada aspecto sempre aponta para os demais, e neste íntimo relacionamento intermodal o significado próprio de cada aspecto é enriquecido.[151]

A aplicação direta da teoria dos aspectos modais no trabalho engenheiril é evidenciada na Análise Multimodal (AMM), "tendo por objetivo original a análise dos múltiplos modos de funcionamento de uma estrutura".[152] Neste processo de análise é necessário que se adote as seguintes tarefas:

---

148 Kalsbeek, 2015, p. 85.
149 Oliveira, 2006, p. 86.
150 Dooyeweerd, 2016a.
151 Oliveira, 2006, p. 86.
152 Freitas, 2017, p. 54.

> Dentre esses diversos aspectos modais, o usuário da AMM geralmente objetiva identificar em quais deles a estrutura funciona ativamente (i.e. funções-sujeito), sem necessidade de ação humana, e em quais passivamente (i.e. funções-objeto). Além disso, procura-se localizar, também nesse espectro modal, a função que funda (i.e. função fundacional) a estrutura, em termos de sua gênese temporal.[153]

A Figura 3 representa graficamente alguns dos elementos essenciais na compreensão da filosofia de Dooyeweerd de forma a simplificar a compreensão dos mesmos e facilitar a sua utilização por parte dos engenheiros.

[153] Ibidem.

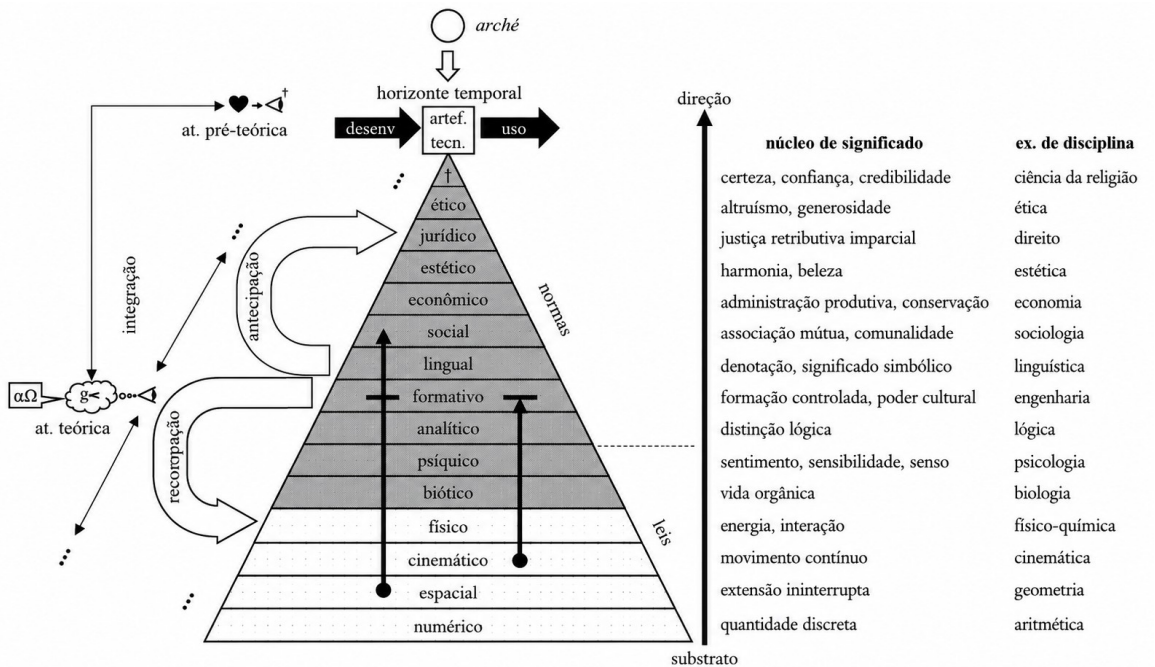


Figura 13 – Principais elementos da tradição holandesa de filosofia da tecnologia

Legenda: †: função qualificadora; –: função fundamental; •: função operacional; f.: fiducial; αΩ: linguagem; ♥: conhec. intuitivo; tesoura: conhec. abstrato; cinza: função-objeto.

Figura 3 – Principais elementos da tradição holandesa de filosofia da tecnologia[154]

Com o objetivo de identificar o funcionamento ativo e passivo de determinado artefato tecnológico é necessário compreender que, segundo Verkerk[155], a tecnologia, como busca por significado, sofre a atuação da ação humana (funções sujeito) com o fim de abrir os significados que se encontram latentes (funções objeto) de forma a garantir o enriquecimento da vida humana. Tal enriquecimento ocorre com o direcionamento dos aspectos anteriores, o substrato, por parte dos aspectos posteriores, como por exemplo o valor econômico, ético ou jurídico oferece um direcionamento ao aspecto físico-químico no processo de escolha do material que será utilizado ou no aspecto espacial na escolha de um local que se apresente adequado para o empreendimento em vista.

Por conseguinte, a tecnologia pode ser compreendida em sua tarefa de "revelar" o potencial dos materiais. Entretanto, há uma distorção deste fenômeno ocasionado pelo reducionismo existente na percepção da realidade como nada além do que matérias-primas a serem moldadas com o intuito de servir aos fins do ser humano como uma "reserva permanente". A sugestão de Heidegger de que a tecnologia é a "revelação" do potencial inato nas coisas encontra paralelos claros na filosofia de Dooyeweerd.[156]

Segundo Maarten J. Verkerk:

> a ideia de abertura se encaixa no pensamento de que os seres humanos são responsáveis pelo desenvolvimento de tecnologia, que a tecnologia tem de estar incorporada na sociedade como um todo, e que alguns grupos estão envolvidos no seu desenvolvimento.[157]

A aplicação de responsabilidade humana no processo de desenvolvimento tecnológico deve ser avaliada a partir de duas distinções fundamentais feitas por Dooyeweerd quanto a ordem das modalidades, determinativas e normativas. O grupo

---

154 Freitas, 2017, p. 47.
155 Verkerk, 2018.
156 Basden, 2015.
157 Verkerk et al., 2018, p. 117.

composto pelos aspectos determinativos "inclui as quatro modalidades inferiores, do numérico ao psíquico, enquanto o grupo normativo compreende todas as outras."[158]

Cada modalidade ou aspecto é governado por seu próprio conjunto de leis, isto é, sua própria ordem, o que confere o nome de Filosofia da Ideia Cosmonômica ao sistema de pensamento desenvolvido por Dooyeweerd. Entra estas leis, Dooyeweerd[159] diferencia entre aquelas que se referenciam aos aspectos anteriores (numéricas, espaciais, cinemáticas etc.) como principalmente determinativas, e as referentes aos aspectos posteriores como amplamente normativas, ou seja, as leis normativas podem ser transgredidas, ainda que com drásticas consequências como pode ser percebido nos projetos de engenharia que desconsideram a validade de tais leis.[160]

Ao tratar da aplicação de responsabilidade e as implicações destes conceitos teóricos os pesquisadores J. D. R. De Raadt e Veronica D. De Raadt[161] adotam uma visão ligeiramente diferente da que foi originalmente apresentada por Dooyeweerd, entretanto de valor considerável nos estudos da engenharia.

De acordo com esta nova abordagem "a ordem normativa difunde-se por todas as modalidades - inclusive as quatro inferiores - com um grau de intensidade variável"[162], sendo que as modalidades superiores são de caráter mais normativo, enquanto as inferiores mais determinativas, isto é, as modalidades éticas, jurídicas ou econômicas, por exemplo, são mais normativas do que as normas referentes aos aspectos físicos e cinemáticos. Esta análise é explicitada na Figura 4 onde as áreas sombreadas representam a ordem determinativa e as áreas em branco representam a ordem e normativa.

---

158 De Raadt, 2014.
159 Dooyeweerd, 2016b.
160 Verkerk et al., 2018.
161 De Raadt e De Raadt, 2014.
162 De Raadt e De Raadt, 2014, p. 21, tradução nossa.

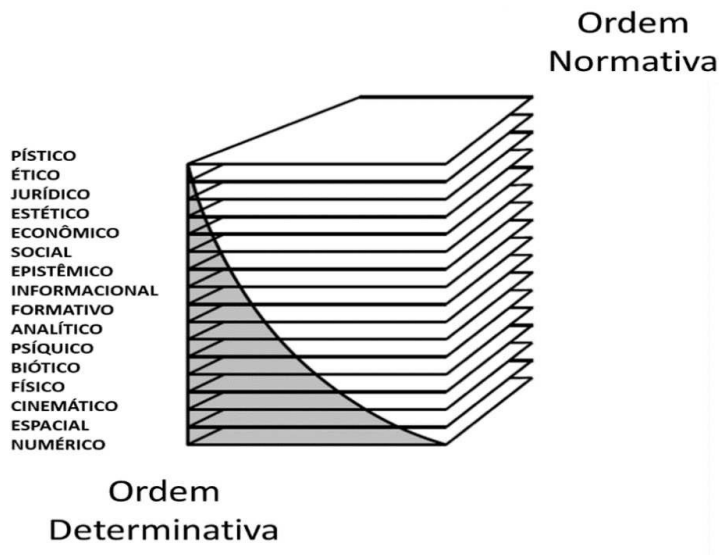


Figura 4 – Ordem Normativa e Determinativa[163]

J. D. R. De Raadt e Veronica D. De Raadt afirmam a importância de tais alterações na AMM pois deve-se reconhecer o dever normativo do homem inclusive "nas modalidades naturais, especialmente no que diz respeito ao meio ambiente."[164] Esta compreensão é necessária pois a atual sociedade, transitando de "uma visão de mundo que considera a natureza acessível a todas as explorações desaforadas"[165], se voltou para "o extremo oposto que venera a natureza e considera a humanidade como uma maldição sobre ela."[166]

> Sem dúvida, e especialmente nos tempos modernos, onde quer que tenhamos colocado o pé, produzimos um desastre. No entanto, a natureza precisa do nosso cuidado e isso se reflete na área

[163] Adaptado de De Raadt, 2014, p. 22.
[164] De Raadt e De Raadt, 2014, p. 21, tradução nossa.
[165] Ibidem.
[166] Ibidem.

> normativa que ocupa cada um dos níveis modais. A erupção de um vulcão pode nos trazer muita destruição e poluição, assim como a indústria moderna. Há espécies que estão se extinguindo ou se extinguiram sem qualquer intervenção humana, de modo que é tanto nosso dever proteger a natureza da exploração indevida do homem quanto de suas próprias calamidades autoinfligidas.[167]

Em conjunto com a discussão sobre responsabilidade humana advinda da AMM, a Função Fundacional está relacionada com o aspecto modal cujo funcionamento dá origem ao artefato tecnológico. Verkerk[168] afirma que na análise da tecnologia percebe-se que todo artefato tecnológico surge como uma ferramenta de uma atividade formativa do ser humano, isto é, todos os artefatos tecnológicos comungam com o fato de compartilharem o aspecto formativo como sua função fundante, diferenciando o que é artificial daquilo que é de origem natural e que portanto possui uma base fundante físico-química ou biótica. Tomando o trabalho da mineração como exemplo prático desta análise pode-se perceber que "uma camada de minério de ferro origina-se nos processos físico-químicos da terra, e o aço bruto na atividade formadora, ou tecnológica, dos seres humanos."[169]

O trabalho do engenheiro e do profissional na área de inovação é, portanto, abrir a função objeto formativa que é latente no minério de ferro, por exemplo, cultivando as funções sujeito das rochas e minerais de uma maneira que, por meio da tecnologia, possa trazer à tona os potenciais dos minerais para enriquecer a vida humana. Entretanto, neste processo, os seres humanos devem prestar atenção aos limites impostos pelas características específicas deste material – as possibilidades de modificação são limitadas.[170]

Para Dooyeweerd, tratar do processo de desenvolvimento tecnológico é focar no aspecto formativo do trabalho humano. Esta ideia pode ser confundida com uma visão 'instrumentalis-

[167] Ibidem.
[168] Verkerk, 2018.
[169] Verkerk et al., 2018, p. 119.
[170] Verkerk, 2018.

ta' da tecnologia que Heidegger tentava afastar, entretanto, como veremos, a visão de Dooyeweerd, e daqueles que aplicaram sua filosofia na engenharia e na tecnologia, como H. Van Riessen, Egbert Schuurman e Maarten J. Verkerk, é de que este não é o único aspecto importante do processo de elaboração de um determinado artefato tecnológico, e que a absolutização do aspecto formativo que é inerente à visão instrumentalista.[171]

Percebe-se no pensamento de Heidegger uma tentativa de escapar dessa absolutização do aspecto formativo e enfatizar alguns dos outros aspectos importantes da atividade tecnológica. No desenvolvimento de seus conceitos sobre a responsabilidade do ser humano que está no lugar de condução da tecnologia parece ter se debruçado principalmente sobre os aspetos éticos e jurídicos, possivelmente pelo fato de eles serem frequentemente negligenciados nesta atividade.[172] Conforme defendido por Basden todos os aspectos modais são importantes na atividade tecnológica, e é por isso que, embora o aspecto formativo seja central, não é de modo algum suficiente.

A absolutização reducionista do aspecto formativo da realidade, denominado de tecnicismo por Schuurman[173], têm reduzido instituições, práticas, discursos e capitais à sua expressão técnica, pela obediência cultural exclusiva ao imperativo das normas de eficácia e eficiência.[174]

A Análise das Estruturas de Individualidade (AEI) se mostra como outra ferramenta valorosa da Filosofia da Ideia Cosmonômica para o desenvolvimento de projetos de engenharia. Com base na Teoria das Estruturas de Individualidade (TEI) "tendo por objetivo original a análise de uma estrutura específica"[175] procura-se localizar, nesse espectro modal, o aspecto que confere a "identidade estrutural, direcionando o desdobramento de significado em todas as outras dimensões"[176] que um

[171] Basden, 2015.
[172] Ibidem.
[173] Schuurman, 2018.
[174] Freitas, 2017.
[175] Freitas, 2017, p. 54.
[176] Ibidem.

artefato tem em um determinado contexto (Função Qualificadora) e caracterizar o "tipo modal das operações efetivamente executadas pela estrutura, em termos dos meios operacionais que ela proporciona"[177] (Função Operacional).

Após definição das funções sujeito, funções objeto e da Função Fundacional é necessário que seja examinado e apresentado a Função Qualificadora do artefato em análise, este se refere ao aspecto modal que confere a direção específica que um artefato tem em um determinado contexto.[178] Para Verkerk[179] a Função Qualificadora é a função que está mais ligada a identidade funcional de um artefato especifico. Considerando que a Função Fundacional não é capaz de fornecer uma distinção entre os artefatos tecnológicos, que compartilham entre si o aspecto formativo, a tarefa de diferenciação é de extrema importância em nossa análise e no trabalho diário de um engenheiro.

> O modo como as pessoas utilizam a tecnologia depende consideravelmente do contexto. Um artefato tecnológico é bem concebido quando ele está completamente adaptado e plenamente incorporado em um contexto especifico. A especificação do contexto obriga o engenheiro a não ver o artefato a ser concebido como uma coisa autônoma. Assim o contexto influencia grandemente o processo de concepção e o projeto final. Esse conceito nos oferece agora uma segunda alça para analisarmos a identidade de um artefato tecnológico.[180]

Estes conceitos corroboram que "a função qualificadora caracteriza a identidade de um artefato tecnológico"[181], de forma que todos os seus elementos são concentrados no desempenho da atividade principal. "Expresso de uma maneira filosófica essa função caracteriza a estrutura interna do artefato tecnológico."[182]

---

177 Ibidem.
178 Verkerk et al., 2018.
179 Verkerk, 2018.
180 Verkerk et al., 2018, p. 120.
181 Verkerk et al., 2018, p. 121.
182 Verkerk et al., 2018, p. 122.

> Sob a direção da função qualificadora, todos os aspectos precedentes (anteriores) são abertos e um artefato recebe sua coerência e identidade. Isso significa portanto, que a identidade não pode ser compreendida partindo-se diretamente da teoria dos aspectos modais. Um artefato tecnológico se expressa em todos os aspectos, mas a unidade estrutural da coisa pode ser compreendida apenas ao observarmos a função qualificadora.[183]

Por fim, para conclusão da Análise das Estruturas de Individualidade (AEI), a Função Operacional fornece auxilio na tarefa de "identificar e descrever o elemento da identidade do artefato tecnológico"[184], oferecendo assim, uma "caracterização modal à tarefa, ou função, de um artefato tecnológico em um contexto específico."[185] Esta função tem por objetivo descrever o modo de funcionamento de determinado artefato tecnológico auxiliando na prática da concepção de projetos e do impacto disto na estrutura de um determinado projeto.

Adotando a estrutura de uma barragem de rejeito da mineração como elemento ilustrativo desta análise filosófica percebe-se que a sua Função Operacional é encontrada no aspecto cinemático, visto que está opera no princípio de armazenar e conter os resíduos e a água gerados a partir do beneficiamento do minério.[186]

> Ao projetar um novo artefato a primeira preocupação é a realização da função operacional. A menos que essa condição básica seja satisfeita, o desenvolvimento posterior do artefato não faz sentido. [...] Não é demais dizer que aqui há duas armadilhas. A primeira é que pouca consideração pode ser dada à função operacional: nesse caso o artefato não funcionará corretamente. A segunda é que muito pouca consideração pode ser dada à função qualificadora: assim o artefato não será pratico ou de fácil uso.[187]

Apesar de sua complexidade os conceitos básicos e as riquezas teóricas da filosofia de Dooyeweerd podem trazer di-

---

183 Verkerk et al., 2018, p. 123.
184 Perdigão, 2019, p.i.
185 Verkerk, 2018, p. 123.
186 Perdigão, 2019.
187 Verkerk, 2018, p. 124.

versos benefícios para o desenvolvimento e a análise da tecnologia, nos auxiliando no empreendimento de entender a complexidade da mesma e identificar suas dimensões normativas.

A aplicação de tais conceitos teóricos na engenharia se deu através da corrente de pensamento denominada por Carl Mitcham de "escola holandesa da filosofia da tecnologia."[188] Segundo Freitas[189] "esses *insights* filosóficos originais foram inicialmente aplicados" aos estudos e projetos de engenharia com uma grande "ênfase crítico-direcional" pelos engenheiros Hendrik van Riessen e Egbert Schuurman. Além destes nomes pioneiros no estudo teórico-filosófico da engenharia a partir do pensamento dooyeweerdiano, a visão não reducionista do trabalho engenheiril elaborada pelo professor adjunto de filosofia reformacional na Universidade de Tecnologia de Eindhoven e na Universidade de Maastricht, Maarten J. Verkerk, têm se tornado uma das principais referências práticas e teóricas destes estudos[190], destacando a necessidade de interdisciplinaridade para que se alcance um bom resultado.

Em sua análise do papel do engenheiro no conhecimento de projetos Verkerk[191] demonstra a natureza dual dos artefatos tecnológicos. Seguindo a lógica de seu pensamento pode-se tomar como exemplo um Filtro de disco cerâmico utilizado em plantas de filtragem de rejeito da mineração visando possibilitar a disposição dos mesmos em pilhas por meio da geração de rejeitos com baixo teor de umidade, sem prejuízos para a produção.[192] Tal artefato pode ser primeiramente descrito em termos de sua forma, da tecnologia utilizada no processo de filtragem, na sua área total, suas dimensões etc. "Estas são todas propriedades geométricas, físicas e químicas."[193] Tais propriedades podem ser denominadas da natureza física do Filtro de disco cerâmico. Porém é preciso considerar que este também pode

[188] Verkerk et al., 2018.
[189] Freitas, 2017.
[190] Verkerk et al., 2018.
[191] Ibidem.
[192] Guimarães, Valadão e Peres, 2012.
[193] Verkerk et al., 2018, p. 152.

ser descrito como um artefato técnico que será utilizada com uma finalidade determinada. Segundo a imagem abaixo, um Filtro é destinado a filtrar a polpa previamente adensada conduzindo a produção de uma torta que será disposta em pilhas.[194] Quando se descreve a função de um artefato, observa-se o que pode ser denominado como a natureza funcional do artefato.

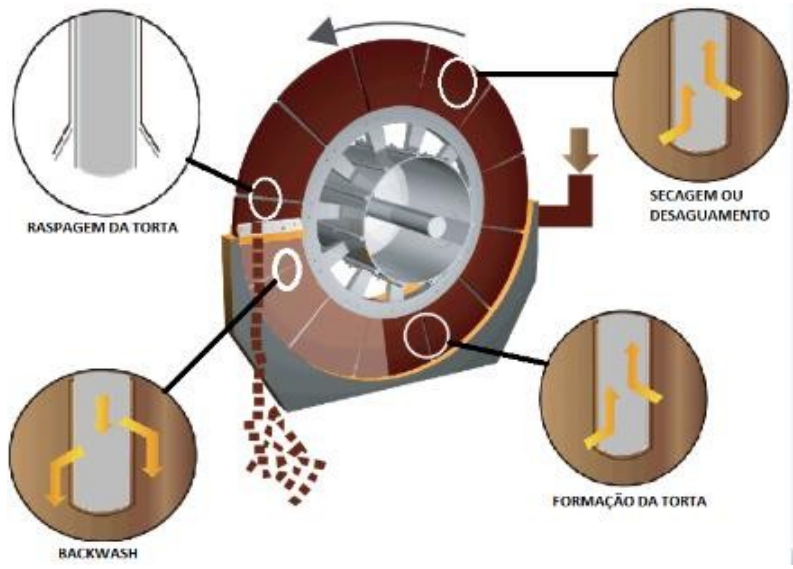


Figura 5 – Esquema operacional do filtro cerâmico[195]

A partir do modo dual de descrição do filtro cerâmico pode-se inferir alguns tipos de conhecimento tecnológico necessários ao engenheiro.[196] Em primeiro lugar o engenheiro pode possuir um conhecimento da natureza física de determinado objeto. Em sequência o engenheiro pode adquirir também conhecimento acerca da natureza funcional deste artefato. Entre-

[194] Guimarães, Valadão e Peres, 2012.
[195] Briz, 2019.
[196] Verkerk et al., 2018.

tanto Verkerk[197] enfatiza a existência de um terceiro tipo de conhecimento "que diz respeito à relação entre a natureza física e funcional do artefato."[198] Assim o engenheiro encontra uma clara conexão entre as propriedades de determinados materiais e suas aplicações e funções.

Deste modo, com o objetivo de apresentar a vasta complexidade do conhecimento tecnológico experimentada pelos engenheiros Verkerk[199] faz uso da TAM e da AMM para demonstrar como os diferentes aspectos se conectam aos distintos tipos de conhecimento.

Utilizando o rejeito da mineração de ferro como objeto de estudo e exemplificação da metodologia de análise apresentada tem-se que é perceptível a tendência deste material ser composto basicamente por três elementos, "óxidos de ferro, sílica e alumínio, apresentando maior percentual de ferro em suas menores frações e maiores teores de sílica em suas maiores frações."[200] Esta é uma questão do aspecto numérico do rejeito da mineração de ferro em sua análise granulométrica.[201] Além disso as formas de disposição deste rejeito são de extrema importância para o estudo de projeto. "Esse conhecimento, por sua vez, diz respeito à estrutura espacial"[202] do rejeito. Este material pode também ser utilizado "na produção de elementos de concreto para pavimentação"[203] e para este fim deve-se avaliar sua resistência à compressão, expansibilidade e absorção de água. Em todos estes estudos o aspecto físico é levado em consideração.

As metodologias de gestão de rejeito da mineração foram desenvolvidas e aprimoradas ao longo dos anos com o objetivo de prover uma disposição adequada para este material.[204] Neste

197 Verkerk, 2018.
198 Verkerk et al., 2018, p. 153.
199 Verkerk, 2018.
200 Andrade, 2014, p. 10.
201 Verkerk et al., 2018.
202 Verkerk et al., 2018, p. 153.
203 Andrade, 2014, p. 14.
204 Rodrigues, 2017.

caso, lida-se com o conhecimento do desenvolvimento das metodologias e a formação de novos métodos de disposição e manejo do rejeito da mineração, sob o aspecto formativo.[205] Os aspectos linguísticos e sociais também desempenham um importante papel na clareza expositiva das vias de comunicação entre as mineradoras e a sociedade, e a integração social entre os distintos interessados na utilização do rejeito da mineração. Naturalmente percebe-se que o rejeito da mineração de ferro possui uma dimensão econômica, da qual os engenheiros precisam ter conhecimento.[206] A exploração econômica dos recursos minerais resulta necessariamente na geração de rejeitos, e o reaproveitamento deste se encaixa no conceito de economia circular visando que os produtos circulem "pelo maior tempo possível pelas cadeias produtivas."[207]

De acordo com Silva[208] o aspecto jurídico também desempenha uma função de extrema importância na questão dos sistemas de gestão, na Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e nos princípios básicos do direito de prevenção e precaução.[209] Para muitos engenheiros há também as implicações morais no processo de mineração e na gestão dos rejeitos. Grandes acidentes têm acometido municípios e cidades inteiras ocasionando a morte de diversas pessoas e vasta destruição ambiental. Por fim, o aspecto pístico é evidenciado pela confiança dos engenheiros na estabilidade das estruturas construídas para contenção do rejeito e na esperança depositada no potencial de reutilização do rejeito do minério de ferro.[210]

Assim, é possível e até mesmo esperado que o engenheiro possua conhecimento de cada um dos aspectos enumerados na Filosofia da Ideia Cosmonômica conforme demonstrado. Segundo Verkerk[211] os "engenheiros não têm apenas conhecimen-

[205] Verkerk, 2018.
[206] Ibidem.
[207] Duthie e Lins, 2017, p. 7.
[208] Silva, 2018.
[209] Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016.
[210] Verkerk et al., 2018.
[211] Verkerk et al., 2018, p. 54.

to resultante da experiência da realidade, mas também conhecimento científico dos aspectos separados, abstraídos." A Figura 6 demonstra então como cada um dos aspectos modais se conecta com a natureza física e com a natureza funcional.

Aspecto	Natureza
Numérico	Não Intencional (Físico)
Espacial	
Cinemático	
Físico	
Biótico	
Psíquico	Intencional (Funcional)
Analítico	
Formativo	
Lingual	
Social	
Econômico	
Estético	
Jurídico	
Ético	
Fiducial/ Pístico	

Figura 6 – Aspectos Modais e a natureza dual dos artefatos[212]

Com base nas terminologias cunhadas por Dooyeweerd (2016a; 2016b) pode-se formular como se segue:

> Em dimensões conectadas com a natureza física, os artefatos tecnológicos funcionam como sujeito, e naquelas com uma natureza funcional, como objeto da ação de agentes humanos.[213]

[212] Adaptado de Verkerk, 2018, p. 155.
[213] Verkerk et al., 2018, p. 155.

Apesar de verificada a necessidade do conhecimento das distintas disciplinas científicas, para que o engenheiro seja capaz de projetar de maneira responsável é necessária a integração dos vários elementos do conhecimento, levando em consideração todos os tipos de complexidade e as limitações do conhecimento de engenharia.

2.3 Obstáculos para uma Visão Interdisciplinar da Engenharia

2.3.1 A Superespecialização

Decorrendo da conceituação do método da engenharia e suas relações com questões basilares da filosofia da tecnologia pode-se abordar algumas características derivadas do reducionismo presente na prática da profissão que se constituem obstáculos para o sucesso de uma visão interdisciplinar da engenharia. Dentre tais atributos tem-se o problema da superespecialização que de acordo com Riessen[214] refere-se a uma maior especialização que impede o engenheiro de perceber e lidar com as reais motivações e grande parte das consequências negativas de suas decisões devido estarem além de seus domínios de conhecimento e expertise e seja incapaz de relacionar sua experiência tecno-cientifica com as demais áreas de conhecimento humano, assumindo a responsabilidade por seu trabalho e pelos problemas inesperados.[215]

Com o objetivo de conceitualizar o termo "especialista" ou "burocrata", Postman afirma que este considera as implicações de suas decisões considerando somente os aspectos que afetam "as operações eficazes da burocracia, e não assume responsabilidades pelas suas consequências humanas."[216] De acordo com Van Riessen[217] a especialização do trabalho e consequentemente sua desvalorização na indústria, foi inicialmente o resultado

[214] Riessen, 2018.
[215] Postman, 1994.
[216] Perdigão, 2019.
[217] Riessen, 2018.

de uma gestão científica, com origem nos princípios de gestão de Frederick W. Taylor[218].

Esta característica constitui-se um obstáculo para a concretização de uma visão interdisciplinar da engenharia impactando diretamente a percepção ampla necessária ao engenheiro no trabalho de concepção, análise da viabilidade e execução de um projeto. Grande parte dos atuais programas de formação em engenharia suprimem os espaços que possibilitam a reflexão teórica sobre a tecnologia, a vasta complexidade dos problemas da engenharia e seus prováveis impactos na sociedade.[219] Como foi observado pelo sociólogo alemão Ulrich Beck a sociedade moderna, refletindo seu caráter nos empreendimentos da engenharia civil e consequentemente nos projetos e metodologias de gestão do rejeito da mineração, tornou-se "um laboratório no qual ninguém é responsável pelo resultado do experimento. Ele até mesmo se aventura a falar de uma irresponsabilidade organizada."[220]

> Um claro exemplo desta postura é de Adolf Eichmann, que quando acusado dos crimes cometidos contra a humanidade na ocasião do regime nazista, argumentou que não participara na formulação da teoria política e sociológica do nazismo, mas lidava apenas com problemas técnicos de transferir grande números de pessoas de um sítio para outro e o que acontecia quando chegavam ao seu destino não era relevante para seu trabalho. Outro exemplo ainda do período nazista é visto em um artigo do New Atlantis intitulado "The Architecture of Evil" que abre com uma declaração provocativa: "Alguém projetou os fornos dos campos de extermínio nazistas". O artigo continua descrevendo a vida e o trabalho de Albert Speer, o "arquiteto chefe" de Adolf Hitler, lembrando-nos de que Hitler não trabalhou sozinho. A verdade é que engenheiros e arquitetos projetaram a tecnologia que permitiu a brutalidade nazista.[221]

Em suma, a ideia que perpassa o tema da superespecialização pode ser definida como a irresponsabilidade do especialis-

[218] Taylor, 1911.
[219] Vanderburg, 2011.
[220] Strijbos, 2017, p. 1, tradução nossa.
[221] Perdigão, 2019, p.i.

ta perante as consequências humanas de suas decisões concedendo valor e relevância apenas às questões que impactam a eficácia de sua parte do processo. Pelo fato de serem especialistas, Eichmann e Speer "deveriam ser ignorantes em relação a muitas questões que não se relacionam diretamente com sua área de especialização."[222] Desta maneira muitos engenheiros devem ser vistos como insipientes no que se relaciona "às implicações de seu trabalho nos mais diversos aspectos da realidade", preocupando-se apenas com a rentabilidade econômica ou a eficiência de sua atividade.[223]

Tal especialização carrega consigo o perigo de um foco exacerbado em questões específicas e o desprezo e não consideração do contexto em sua totalidade, conduzindo, deste modo, ao surgimento de problemas éticos.

> Na minha opinião, há uma tendência em nossas profissões de engenharia como ela é constituída atualmente para que não seja visto o tipo de trabalho que eles fazem como envolvido com questões morais sérias. Convencido de que a tecnologia é meramente neutra, persuadido de que de alguma forma as questões importantes serão levantadas por alguém mais, muitos engenheiros parecem quase orgulhosos de sua incapacidade ou falta de vontade para falar sobre questões éticas. Eles estão, em geral, mais do que prontos para se tornarem as ferramentas passivas de qualquer corporação ou burocracia que fizer a maior oferta. Os alunos não entram em nossas faculdades dizendo a si mesmos: "Oh, como eu gostaria de aprender a construir bombas de hidrogênio. Se eu pudesse aprender as técnicas de produção de carcinógenos ambientais. Ensine-me os métodos que ajudarão uma empresa automóvel a decidir se é ou não rentável substituir os tanques de gasolina que explodem no impacto. Não, eles não entram em escolas de engenharia afirmando metas como essas. Mas o que eles acabam fazendo quando saem e procuram um emprego?[224]

---

[222] Ibidem.
[223] Perdigão, 2019.
[224] Winner, 1990, p. 56, tradução nossa.

De igual modo, o professor Willem H. Vanderburg[225] apresenta fortes críticas a estas questões, comparando a superespecialização e a denominada "abordagem baseada em disciplinas" a um homem que enquanto dirige seu carro permanece todo o tempo olhando somente para o velocímetro, medidores do painel e instrumentos, ignorando a realidade ao seu redor, sem olhar pelas janelas.[226] Ele afirma:

> Os especialistas […] não conseguem 'ver' intelectualmente, e muito menos lidar com a maioria das consequências negativas de suas decisões porque estas vão além de seus domínios de expertise. Eles não conseguem simbolizar suas experiências profissionais em relação a todas as outras coisas.[227]

E também:

> Temos que confrontar a possibilidade de que nossas crises econômicas, sociais e ambientais têm uma raiz comum: nós não mais 'conectamos os pontos' para garantir que aquilo que alcançamos em uma área (quando medido por um certo critério) não é prejudicado pelas suas consequências em outras áreas (quando medidas por outros critérios).[228]

Segundo Santos torna-se claro que certo grau de abstração em atividades focalizadas nem sempre é algo problemático, no entanto os problemas se encontram no aumento da distância entre o engenheiro e seu projeto, "na autoabsorção compulsiva, na sedução da sensação de poder e controle e no escapismo em direção a problemas convergentes, em detrimento dos divergentes"[229]. Todos os problemas mencionados são causas prováveis, segundo Vanderburg[230], das crises modernas que decorrem da superespecialização.

---

225 Vanderburg, 2011.
226 Santos, 2017.
227 Vanderburg, 2011, p. 15, tradução nossa.
228 Vanderburg, 2011, p. 3-4, tradução nossa.
229 Santos, 2017.
230 Vanderburg, 2011.

2.3.2 Excessiva Confiança em Indicadores

Uma segunda característica marcante no trabalho dos engenheiros, advinda da superespecialização, é a excessiva e exclusiva confiança em números, indicadores e índices para gestão de projetos.[231] Este método da engenharia é empregado com a finalidade de "interpretar todo o contexto de um projeto e o próprio empreendimento exclusivamente em termos de números", e fatores quantificáveis estatisticamente.[232] Conforme assegurado por Schuurman[233] todas as coisas foram reduzidas à "numerabilidade, mensurabilidade, e estimabilidade e foi, assim, preparado para o cálculo e subsequente o controle tecnológico."

Para a grande maioria dos engenheiros que empregam seus esforços na gestão de projetos de alto impacto no meio ambiente e na sociedade, como a disposição dos rejeitos da mineração, há uma única atitude merecedora de confiança, isto é, "o previsto pela ciência natural moderna e seu método de quantificação."[234]

Theodore Porter[235], professor com especialização em história da ciência, demonstra o modo como a atual cultura científica e grande parte da vida pública é fortemente fundamentada na confiança singular em números, "e isto se evidencia nas análises de custo benefício utilizadas na elaboração de projetos"[236]. A aceitabilidade destes números se dá como um mediador que visa alcançar a objetividade durante a análise e a certeza nos processos de tomadas de decisão, demarcando a separação entre o que é aceito como seguro e o que é tido como de alto risco, transformando as pessoas, a sociedade e o meio ambiente em meros objetos a serem manejados.

---

231 Porter, 1996.
232 Perdigão, 2019, p.i.
233 Schuurman, 2018, l. 805.
234 Ibidem.
235 Porter, 1996.
236 Perdigão, 2019, p.i.

> Engenheiros estão habituados a gerir seus empreendimentos fundamentados apenas através de números, o que pode, eventualmente, afastá-los das realidades diárias. Esta redução da realidade e da complexidade de projetos ao aspecto numérico enxerga uma certa atividade apenas como uma relação input/output, pressupondo os inputs e outputs como uma "reserva permanente" nos termos de Heiddeger, de forma a considerar que a atividade realizada não interferisse nesses próprios inputs e outputs, ignorando as repercussões que determinada ação tem na economia, na sociedade e outros aspectos como um todo.[237]

Como grande defensor e propagador deste reducionismo numérico, o filósofo Auguste Comte afirmou que não há sequer uma indagação que não seja finalmente redutível a uma questão numérica. Aplicando tal pensamento ao trabalho engenheiril e submetendo-o aos conceitos da sociedade tecnológica, Derek Schuurman[238] sustenta que uma compreensão contemporânea de tal visão reducionista poderia afirmar que "não há área de estudo que não possa ser compreendida usando um computador executando um algoritmo apropriado".[239]

A adoção deste caminho por engenheiros é algo que deve ser evitado, considerando que os mesmos passam elevada porção de seu tempo sendo guiados e pautados por uma compreensão do mundo através da estreita lente dos indicadores e algoritmos esquecendo a extrema complexidade e diversidade da realidade criada. Ainda que "muitas coisas possuam atributos computáveis, elas não podem simplesmente ser reduzidas a números."[240] Esta noção é apresentada por William Cameron, ao afirmar:

> Seria bom se todos os dados que os sociólogos exigem pudessem ser enumerados, porque então poderíamos executá-los através de máquinas IBM e desenhar gráficos como fazem os economistas. No entanto, nem tudo o que pode ser contabilizado importa e nem tudo o que importa pode ser contabilizado.[241]

---

237 Ibidem.
238 Schuurman, 2013.
239 Schuurman, 2013, p. 39, tradução nossa.
240 Schuurman, 2013, p. 40, tradução nossa.
241 Cameron, 1963 apud Schuurman, 2013, p. 40, tradução nossa.

2.3.3 O Problema das "Muitas Mãos"

Por fim apresenta-se o problema das muitas mãos (PMH, Problem of Many Hands) como marca qualificadora derradeira no processo de análise teórica do trabalho da engenharia. Dada a natureza das grandes corporações e os grupos amplos de pessoas envolvidas em um único empreendimento o problema das muitas mãos é apresentado estando amplamente relacionado a questões de atribuição de responsabilidade em ocasiões de falhas estruturais ou desastres de engenharia, considerando que a identificação de responsáveis é dificílima em projetos complexos.[242]

Falhas técnicas ou desastres como os que ocorrem no rompimento de uma barragem de rejeito apresentam muitas vezes o questionamento acerca da imputação da responsabilidade, no entanto Poel, Royakkers e Zwart[243] afirmam que tais desastres são "o resultado da interação entre as ações de muitos agentes diferentes, incluindo engenheiros, usuários, governos, empresas, gerentes e afins." Devido à quantidade de interações existentes no processo de tomada de decisão e execução o senso de responsabilidade é fragmentado e não um sentimento de responsabilização pela segurança do empreendimento como um todo.

> O PMH normalmente descreve o problema em que muitas pessoas estão envolvidas em uma atividade, como um projeto de perfuração complexo, dificultando, portanto, identificar onde está a responsabilidade por um determinado resultado. Em parte, isso é um problema prático. Muitas vezes é difícil, em organizações ou projetos complexos, identificar e provar quem foi responsável pelo quê. [...] Isto é especialmente problemático se se quer que a responsabilidade tenha implicações jurídicas, porque a lei exige evidência de comportamento irresponsável e esta evidência tem que satisfazer um certo padrão de prova.[244]

Além das implicações jurídicas e da prática da engenharia, o PMH é um problema moral, pois pode acarretar a não impu-

[242] Poel, Royakkers e Zwart, 2015.
[243] Poel, Royakkers e Zwart, 2015, p. 3, tradução nossa.
[244] Poel, Royakkers e Zwart, 2015, p. 4, tradução nossa.

tação razoável de responsabilidade moral a nenhum dos envolvidos no desastre. De acordo com Poel, Royakkers e Zwart esta problematização moral apresenta ao menos duas razões pelas quais é importante a sua compreensão. A primeira delas é que "muitas pessoas, incluindo vítimas, membros do público e também da comunidade de engenharia"[245], podem tomar como insatisfatório a não responsabilização das partes envolvidas na ocasião de desastres. Em busca de oferecer respostas a este problema alguns filósofos principiaram com a noção de "responsabilidade coletiva para lidar com a intuição de que há mais responsabilidade em casos complexos do que apenas a soma das responsabilidades dos indivíduos considerados isoladamente".[246] A segunda razão para atribuição de responsabilidade é advinda do desejo presente na definição da própria engenharia de aprender com os erros cometidos e buscar a melhoria contínua do projeto[247], o que é impossibilitado quando ninguém é moralmente responsabilizado por um desastre.

Segundo Harris, Pritchard e Rabins[248], com o objetivo de fornecer soluções aos problemas decorrentes do PMH diversos filósofos têm buscado princípios a serem aplicados na responsabilização de indivíduos em situações onde muitas pessoas estão envolvidas. Dentre tais pensadores pode-se mencionar o filósofo Larry May que propôs o princípio da responsabilidade pela inação em grupos:

> O dano causado resultou da inação coletiva, o grau de responsabilidade individual de cada membro de um grupo putativo pelo dano deve variar com base no papel que cada membro poderia, contrafactualmente, ter desempenhado na prevenção da inação.[249]

Este princípio assegura que em uma situação específica, na qual um dano foi produzido pela inação coletiva, o grau de responsabilidade de cada membro do grupo envolvido depende da

[245] Ibidem.
[246] Ibidem.
[247] Petroski, 1992.
[248] Harris, Pritchard e Rabins, 2009.
[249] Harris, Pritchard e Rabins, 2011, p. 37 apud May, 1992, tradução nossa.

extensão e aplicação de esforços que se poderia esperar do membro para impedir a ação.[250]

Uma segunda abordagem destes problemas é desenvolvida por Thompson[251]. Considerando que o PMH é inerente a toda e qualquer organização complexa, os resultados que estas produzem procedentes de decisões de muitos indivíduos, no entanto para atribuir responsabilidade por um resultado organizacional de forma justa é necessário "identificar pessoas que conscientemente e livremente contribuem para isso"[252]. Para Thompson comissões e órgãos de supervisão, devidamente constituídos, podem ser dispositivos importantes na busca por expor os defeitos organizacionais que obstruem a responsabilidade individual e mitigar o PMH. Com a implantação de tais ideias, ele afirma

> Seríamos mais capazes de identificar os indivíduos que contribuem para as falhas das organizações e, assim, reduzir as chances de falhas futuras, se aperfeiçoarmos os critérios de responsabilidade e ampliarmos seu escopo para abranger o design organizacional. Esta abordagem individualista modificada para o problema de muitas mãos pode servir como um guia no esforço contínuo para encontrar formas de fortalecer a responsabilidade individual na sociedade moderna.[253]

Assim, pode-se afirmar que o PMH aponta para resultados indesejáveis em um ambiente de decisões coletivas para o qual é difícil ou mesmo impossível responsabilizar um indivíduo ou organização. De acordo com Poel[254] um problema de muitas mãos ocorre quando há uma lacuna na "distribuição de responsabilidade em um contexto coletivo que é moralmente problemático", ou seja, a existência de uma situação onde coletivo pode ser considerado moralmente responsável por um resulta-

---

[250] Harris, Pritchard e Rabins, 2011.
[251] Thompson, 2017.
[252] Thompson, 2017, p. 20, tradução nossa.
[253] Thompson, 2017, p. 21, tradução nossa.
[254] Poel et al., 2012, p. 63, tradução nossa.

do, ao passo que nenhum dos indivíduos pode ser considerado moralmente responsável por esse mesmo resultado.[255]

Deste modo torna-se evidente os muitos desdobramentos ocasionados a partir de uma visão reducionista da realidade por parte do engenheiro, quer em seu reducionismo numérico ou em sua visão míope quanto à diversidade de aspectos presentes no empreendimento ou no contexto em que o mesmo está inserido, e os diversos problemas e riscos decorrentes dela.[256] No setor minerário os impactos ocasionados por tal percepção da realidade nos processos de gestão e manejo de rejeitos de minério podem conduzir à potenciais danos socioambientais e econômicos.[257]

[255] Poel, Royakkers e Zwart, 2015.
[256] Schuurman, 2016a.
[257] Rodrigues, 2017.

3. Gestão dos Rejeitos da Mineração e Suas Implicações

Segundo o IBRAM[258] o exercício da mineração engloba distintas atividades destinadas a pesquisar, descobrir, mensurar, extrair, tratar ou beneficiar e transformar os mais diversos recursos minerais, tornando-os benefícios econômicos e sociais. Durante grande parte da história da extração de substâncias mineiras utilizou-se de diversas técnicas e ferramentas rudimentares e a geração dos rejeitos da mineração e os impactos que decorriam da execução deste trabalho no meio ambiente era considerado desprezível, levando ao descarte direto na natureza. Entretanto, devido um conjunto de mudanças que aconteceram na Europa nos séculos XVIII e XIX em ocasião da Revolução Industrial, um relevante aumento na demanda de insumos advindos da mineração e um considerável crescimento nas quantidades produzidas pelos processos de exploração e aproveitamento de substâncias minerais levou ao aumento expressivo da geração de rejeitos, surgindo a necessidade de retirá-los das áreas de produção através do desenvolvimento de novas metodologias e sistemas alternativos de disposição.[259]

3.1 Exploração de Recursos Naturais e o Conceito de Sustentabilidade

O atual contexto de produção econômica necessita aprender a lidar com as diversas implicações da exploração dos recursos naturais. No processo de análise da viabilidade de tal exploração um dos principais fatores a ser levado em consideração "é o tempo necessário para a compensação da perda produzida pela exploração econômica"[260], determinando o seu caráter renovável ou não renovável.

De acordo com Toledo, Ribeiro e Thomé, a irreversibilidade da renovação de determinado recurso só pode ser considerada

[258] IBRAM, 2016.
[259] Rodrigues, 2017.
[260] Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016, p. 2.

em "em relação à escala de tempo da vida humana"[261]. Assim, os recursos de caráter mineral devem ser considerados como recursos não renováveis. Levando a necessidade de uma exploração que racional que respeite a existência das futuras gerações.[262]

Ao mesmo tempo que são levantadas tais implicações da exploração dos recursos não renováveis, não se pode impedir a atual utilização destes "sob a alegação de que isso comprometeria a integridade física do recurso."[263] Com o objetivo de justiçar a degradação ambiental causada pelas mineradoras em locais de atividade mineraria afirma-se a rigidez locacional e a esgotabilidade dos mesmos, sendo que os minerais a serem trabalhados ocorrem, normalmente, em camadas subjacentes da terra.[264]

No que tange a extração mineral o artigo 176 da Constituição da República – CF/1988 afirma que:

> Art. 176. As jazidas, em lavra ou não, e demais recursos minerais e os potenciais de energia hidráulica constituem propriedade distinta da do solo, para efeito de exploração ou aproveitamento, e pertencem à União, garantida ao concessionário a propriedade do produto da lavra. § 1º A pesquisa e a lavra de recursos minerais e o aproveitamento dos potenciais a que se refere o "caput" deste artigo somente poderão ser efetuados mediante autorização ou concessão da União, no interesse nacional, por brasileiros ou empresa constituída sob as leis brasileiras e que tenha sua sede e administração no País, na forma da lei, que estabelecerá as condições específicas quando essas atividades se desenvolverem em faixa de fronteira ou terras indígenas. (Redação dada pela Emenda Constitucional nº 6, de 1995) § 2º É assegurada participação ao proprietário do solo nos resultados da lavra, na forma e no valor que dispuser a lei. § 3º A autorização de pesquisa será sempre por prazo determinado, e as autorizações e concessões previstas neste artigo não poderão ser cedidas ou transferidas, total ou parcialmente, sem prévia anuência do poder concedente. § 4º Não

[261] Ibidem.
[262] Jonas, 2006.
[263] Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016, p. 3.
[264] Silva, 2018.

> dependerá de autorização ou concessão o aproveitamento do potencial de energia renovável de capacidade reduzida.[265]

Naquilo que cabe ao processo de extração mineral, a primeira etapa denominada de prospecção, onde se examina a aproveitabilidade e os aspectos mineralógicos do material, têm início logo após a descoberta de um depósito de minerais na crosta terrestre. Tendo se constatado a qualidade do mineral, inicia-se o processo de análise da viabilidade econômica e técnica desta exploração.[266]

Após execução destes procedimentos iniciais têm-se uma reserva mineral, a qual será explorada pelas mineradoras. A fim de que o minério se torne um bem comercializável é essencial que este seja submetido ao beneficiamento. Este processo de tratamento é definido por Luz e Lins[267] da seguinte maneira:

> Tratamento ou Beneficiamento de Minérios consiste de operações − aplicadas aos bens minerais − visando modificar a granulometria, a concentração relativa das espécies minerais presentes ou a forma, sem, contudo, modificar a identidade química ou física dos minerais.[268]

A Figura 7 apresenta um fluxograma típico de tratamento de minérios, com recirculação de água.

---

[265] Brasil, 1988.
[266] Silva, 2018.
[267] Luz e Lins, 2004.
[268] Luz e Lins, 2004, p. 3.

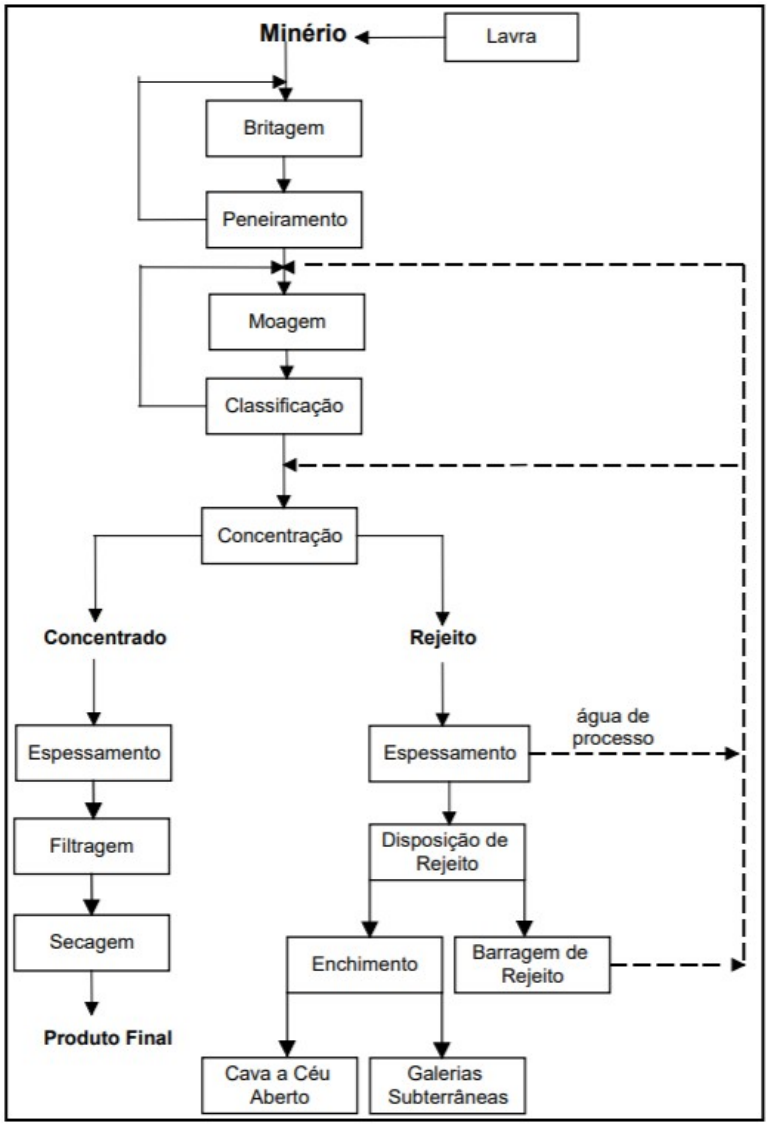


Figura 7 – Fluxograma típico de tratamento de minério[269]

[269] Luz e Lins, 2004, p. 5.

O minério bruto "procedente da etapa de lavra de uma mina passa por diversas operações unitárias"[270] que são classificadas como cominuição, peneiramento e classificação, concentração, espaçamento e filtragem, secagem e por fim a disposição do rejeito.

A cominuição, primeiro dos processos operacionais executado após a lavra do minério, é também conhecido como britagem ou moagem, que têm por finalidade submeter o minério a uma operação de redução de tamanho "que pode variar de centímetros até micrômetros."[271] Após a submissão do minério à cominuição, o mesmo deve ser exposto "à operação de separação das espécies minerais, obtendo-se, nos procedimentos mais simples, um concentrado e um rejeito."[272]

Os demais processos referentes ao tratamento do minério ocorrem sequencialmente a fim de remover do minério aqueles minerais contaminantes e o conjunto mineral não aproveitável.

> O termo concentração significa, geralmente, remover a maior parte da ganga, presente em grande proporção no minério. A purificação, por sua vez, consiste em remover do minério (ou préconcentrado) os minerais contaminantes que ocorrem em pequena proporção. Na maioria das vezes, as operações de concentração são realizadas a úmido. Antes de se ter um produto para ser transportado, ou mesmo adequado para a indústria química ou para a obtenção do metal por métodos hidropirometalúrgicos (áreas da Metalurgia Extrativa), é necessário eliminar parte da água do concentrado. Estas operações compreendem desaguamento (espessamento e filtragem) e secagem e, geralmente, na ordem citada.[273]

Deste modo o beneficiamento desmembra e classifica o minério bruto em concentrado e rejeito, sendo que a polpa que não apresenta valoração econômica é disposta como rejeito da mineração.

---

[270] Luz e Lins, 2004, p. 4.
[271] Pereira, 2013, p. 22.
[272] Pereira, 2013, p. 23.
[273] Luz e Lins, 2004, p. 4.

Considerando os processos operacionais apresentados compreende-se que a conjuntura ideal para a atividade mineraria é encontrada no aproveitamento econômico integral dos minérios lavrados, entretanto a realidade deste empreendimento evidencia que a geração de rejeito é um ônus inevitável da atividade mineraria, gerando operações frequentemente difíceis e onerosas.[274]

O cientista ligado ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Illinois, Eugene S. Schwartz[275] apresenta o conceito de quase-soluções e os problemas residuais decorrentes destas fornecendo arcabouço teórico para a compreensão do desenvolvimento da atividade mineraria que reconhece a existência do rejeito mineral como um grande problema residual.

Os muitos desenvolvimentos industriais, incluindo as diversas técnicas de mineração e disposição de rejeitos, "são soluções tecnológicas dentro da estrutura de objetivos limitados baseados em critérios estabelecidos para o processo tecnológico."[276] Na busca por novas alternativas técnicas descobre-se, quase sempre, que a solução do problema primeiramente especificado culmina na geração de "novos problemas decorrentes das inter-relações e das características finitas do sistema fechado."[277]

Estes problemas residuais são provenientes de três fontes distintas, porém igualmente presentes nas quase-soluções tecnológicas. "A primeira fonte é a natureza incompleta da solução tecnológica."[278] Qualquer que seja a técnica de gestão adotada, estruturas construídas ou máquinas utilizadas é impossível conseguir uma eficiência plena. "A segunda fonte de problemas residuais é o aumento do problema original".[279] Este aspecto evidência que uma nova solução traz consigo uma tecnologia completamente nova e consequentemente uma série dife-

[274] Machado, 2013.
[275] Schwartz, 1975.
[276] Schwartz, 1975, p. 66.
[277] Ibidem.
[278] Ibidem.
[279] Schwartz, 1975, p. 67.

rente de problemas. Devido a alta demanda de matéria prima por parte das indústrias novas metodologias de lavra de minerais foram criadas proporcionando o aumento exponencial da exploração mineral, o que exigiu maquinário, estruturas e técnicas cada vez mais complexas e uma maior geração de rejeitos. Por fim, a terceira fonte de problemas residuais é formada pelos efeitos secundários, originados quando, ao longo do processo de solução "de um problema original, vários efeitos secundários se manifestam – alguns previstos, outros inesperados, alguns reconhecidos, outros não".[280]

Em resumo, Schwartz afirma:

> Uma quase-solução gera assim três novos conjuntos de problemas decorrentes da natureza incompleta, do aumento e dos efeitos secundários da solução original de um problema. Enquanto os problemas que surgem da natureza incompleta são principalmente extensões do problema original, os problemas gerados pelo aumento e pelos efeitos secundários são essencialmente novos. Os problemas combinados que existem depois da solução inicial invariavelmente têm maior vulto que o problema original.[281]

Devido ao acumulo destes problemas a sua proliferação ocorre em maior rapidez que a possibilidade de encontrar soluções para eles, além do mais, devida a relação estreita entre a sociedade e a tecnologia, "nenhum problema é verdadeiramente tecnológico, mas, antes, todos são problemas tecno-sociais"[282] e "cada série de problemas novos ou residuais é mais difícil de resolver que os problemas antecedentes."[283]

Assim, com o objetivo de sustentar a manutenção do nível de vida e o avanço das sociedades modernas, a mineração trouxe consigo diversos problemas residuais, dentre os quais evidencia-se a gestão e disposição dos rejeitos. Conforme indicado por Ávila[284], a partir da década de 80 os aspectos ambientais cresceram em importância e a atenção voltou-se para o traba-

[280] Schwartz, 1975, p. 68.
[281] Ibidem.
[282] Schwartz, 1975, p. 71.
[283] Ibidem.
[284] Ávila, 2012.

lho realizado na busca por elucidações destas adversidades, levando em consideração o potencial de dano ambiental e os mecanismos de transporte de contaminantes.

A preocupação e atenção para com a necessidade de uma "perspectiva administrativa de longo prazo"[285] proporcionou com que o alemão Hans Carl von Carlowitz (1645 - 1714) fizesse uso pela primeira vez do termo alemão *nachhaltende* que "refere-se de maneira muito próxima ao que hoje chamamos de sustentabilidade"[286], em seu livro *Sylvicultura Oeconomica*, publicado em 1713. Entretanto, apesar deste uso inicial do conceito básico de sustentabilidade o seu uso ganhou popularidade quando em 1971 a Organização das Nações Unidas organizou o "encontro de Founex para discutir o atual modelo de crescimento econômico, que caminhava juntamente com a degradação dos recursos naturais."[287]

Atualmente existem diversas perspectivas acerca da abrangência e dos impactos do problema ambiental, deste modo o conceito de desenvolvimento sustentável pode assumir diversas conotações.[288]

> No início da década de noventa, o pesquisador indiano Sharachchandra M. Lélé observou que o termo sustentabilidade pode assumir conotações sociais, quando se refere à "sustentação da ba-

[285] De Britto, 2014, p. 18.
[286] Ibidem.
[287] De Britto, 2014, p. 19.
[288] Nota do Autor (2026): O conceito de sustentabilidade empregado neste trabalho corresponde à formulação mais amplamente utilizada nos debates acadêmicos e institucionais sobre desenvolvimento sustentável durante o período em que a pesquisa foi realizada. Pesquisas posteriores, no entanto, levaram-me a compreender a sustentabilidade como um conceito derivado de uma categoria mais ampla: a viabilidade sistêmica (ver Perdigão, 2025). Enquanto a sustentabilidade concentra-se principalmente na permanência de determinados processos ao longo do tempo, a viabilidade procura analisar a capacidade de um sistema manter sua identidade histórica, institucional, econômica, ambiental e comunitária diante das transformações que o afetam. Essa ampliação conceitual se revelou particularmente importante para a análise de empreendimentos minerários.

> se social da vida humana" (LÉLÉ, 1991, p.608, tradução nossa); ecológicas, quando diz respeito à "sustentação da base ecológica da vida humana" (LÉLÉ, 1991, p.608, tradução nossa); ou, ainda, num sentido literal, significar a "sustentação de qualquer coisa" (LÉLÉ, 1991, p.608, tradução nossa). [...] Segundo Lélé, "qualquer discussão sobre sustentabilidade deve primeiro responder às questões: 'Sustentar o quê? Para Quem? Por quanto tempo?'" (LÉLÉ, 1991, p.615, tradução nossa). Com base neste raciocínio, acrescentamos: Quais fatores e dimensões estão envolvidos?[289]

Além das afirmações e questionamentos apresentados por Lélé[290] e De Britto[291] torna-se evidente que empreendimentos que visam apenas um crescimento econômico irrestrito são confrontados pelo esgotamento dos recursos naturais e a intensificação dos problemas de degradação ambiental. A partir do reconhecimento da necessidade da adoção de uma visão sustentável do desenvolvimento econômico é necessário "agregar a isto diversas outras dimensões e fatores."[292]

Com o intuito de apresentar esta multiplicidade de aspectos envolvidos na conceitualização da sustentabilidade Basden e Lombardi[293] afirmam que esta tratativa envolve:

> Perspectiva de futuro; equilíbrio e isenção de conflito; equidade; solidariedade e compartilhamento; oportunidades iguais para todos (incluindo empregabilidade); democracia e participação; regulamentações e gerenciamento; direito de posse; beleza; estilo arquitetônico; caráter artístico e significado; eficiência, poder de compra; utilidades e funcionalidade; pluralidade e coesão (sociofilia); garantia; segurança; privacidade; comunicação e rede; colaboração; patrimônio cultural e conservação; tecnologia e mudança; diversidade; diversidade funcional; flexibilidade; adaptabilidade; educação e conhecimento; saúde e higiene; vitalidade; ambientalismo; prosperidade; recursos naturais; viabilidade;

[289] De Britto, 2014, p. 21.
[290] Lélé, 1991.
[291] De Britto, 2014.
[292] De Britto, 2014, p. 22
[293] Basden e Lombardi, 1997.

> transporte; mobilidade; acessibilidade; disposição e forma; densidade; e questão ecológica.[294]

Fundamentados nos conceitos teóricos da Filosofia da Ideia Cosmonômica apresentados anteriormente e adotando de igual modo uma visão enfática da necessidade de uma compreensão abrangente e interdisciplinar de tal abordagem, os pesquisadores J. D. R. De Raadt e Veronica D. De Raadt[295] apontam para o caráter normativo da sustentabilidade. Para Dooyeweerd o núcleo do aspecto econômico aponta para a gestão de bens escassos com frugalidade.[296]

De Britto é enfático em sua afirmação de que o caráter multimodal da sustentabilidade traz à tona a necessidade de um "diálogo de saberes, que, por sua vez, requer novos paradigmas epistemológicos"[297] que alicercem um melhor entendimento "das dimensões, fatores e inter-relações envolvidos e que sejam capazes de fundamentar intervenções sociais promotoras de sustentabilidade."[298]

> Segundo De Raadt (2000), a lei da complexidade, desenvolvida por W. Ross Ashby a partir de seus estudos sobre a cibernética (ASHBY, 1970), aponta que problemas complexos requerem soluções complexas. Portanto, "todo sistema deve, da maneira mais próxima possível, encarar suas incertezas ambientais com um montante equivalente de informação se quiser permanecer viável" (DE RAADT, 2000, p.23, tradução nossa). Para Lombardi, não basta aqui um esforço de compilação de ideias e teorias com pouca fundamentação teórica e ontológica, "precisamos de um modelo e mecanismo que traga unidade dentro da diversidade" (BASDEN; LOMBARDI, 1997, p.477, tradução nossa).[299]

Percebe-se que até o momento a sociedade tem sido estruturada, de maneira geral, "no estabelecimento de princípios para um desenvolvimento econômico fundamentado em recursos

---

294 De Britto, 2014 apud Basden e Lombardi, 1997, p. 477.
295 De Raadt e De Raadt, 2014.
296 Dooyeweerd, 1921.
297 De Britto, 2014, p. 27.
298 De Britto, 2014, p. 28.
299 De Britto, 2014, p. 28.

naturais renováveis".[300] A partir deste ponto inicial, diversos outros aspectos e fatores significativos foram identificados e assimilados, tornando a ideia de sustentabilidade um conceito extenso e complexo demais para que possa ser delimitado a uma única formulação que desconsidere a variedade modal do espectro da realidade, assim, deve-se adotar um pensamento abrangente que tome para si a tarefa de "orientar processos de reflexão a partir da operacionalização de seu conteúdo"[301] visando uma melhoria contínua e o desenvolvimento de metodologias que favorecem o aspecto interdisciplinar e não reducionista da sustentabilidade na gestão e manejo dos rejeitos de mineração.[302]

3.1.1 Exploração Minerária no Brasil

No contexto brasileiro a mineração do ouro e posteriormente do diamante, eram as principais tipologias minerais extraídas[303], entretanto, a necessidade de mercadorias de origem mineral era muito baixa, acarretando que as principais demandas ocorriam em relação às argilas, areia e cascalho para construções.[304]

> As ferramentas utilizadas para a extração desses materiais eram rudimentares e pouco resistentes, feitas normalmente de ferro caldeado. Até o século XIX, era também muitíssimo pequena a produção do ferro no Brasil, existindo apenas algumas forjas catalãs em Minas Gerais.[305]

Germany afirma que as primeiras explorações ou garimpos tiveram sua origem nas cidades de São Paulo, São Vicente, Vale da Ribeira, e seguidamente expandiu-se pelos estados de Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso, todo trabalho de extração era feito de modo manual, "com pás, lançando-se em calhas,

---

300 De Britto, 2014, p. 31.
301 Ibidem.
302 IBRAM, 2016.
303 Ibidem.
304 Germany, 2002.
305 Germany, 2002, p. 6.

depois bateados, sendo que os rejeitos eram lançados manualmente em locais próximos".[306]

Determinado grau de sofisticação técnica do processo de lavra só foi alcançado com a abertura da Mina da Passagem, em Mariana, no ano de 1819, e a Mina Velha da empresa de mineração britânica *Saint John Del Rey Mining Co.*, na cidade de Nova Lima, em 1834. Essas serviram "como exemplos no emprego de tecnologia e serviam de referências mundiais, no que dizia respeito a lavras subterrâneas."[307]

De forma rudimentar, em 1942, teve início a lavra de hematitas pela Companhia Vale do Rio Doce, no município mineiro de Itabira. No entanto, apenas na década de 40, sob a condução da Cia Siderúrgica Nacional (CSN), têm-se registro dos melhores exemplos de introdução de lavra em fatias na mina de carvão de Siderópolis, em Santa Catarina, que tinha por objetivo a produção de carvão metalúrgico e abastecer o Lavador de Capivari em Tubarão. Em um curto intervalo de tempo a mina de Casa de Pedra, na cidade de Congonhas, que foi primeiramente implantada por mineradoras escandinavas, foi absorvida pela CSN, via desapropriação, sendo modernizada e empregada na produção de minério bitolado e lump para os fornos Siemens Martins, destinados à produção de aço.[308]

> Enquanto as operações de lavra a céu aberto ocorriam ainda em escala reduzida, eram pequenas as agressões ao ambiente, somente a mineração da Aluminium Company of América – Alcoa em Poços de Caldas, Minas Gerais, foi destaque na introdução de técnicas de recuperação de áreas mineradas. Foi seguida depois pela Cia Brasileira de Mineração e Metalurgia– CBMM em Araxá, Minas Gerais, mas só a partir do último lustro do século passado foi imperativo que as lavras atendessem à nova regulamentação, dedicando um maior cuidado às questões ambientais.[309]

O crescente desenvolvimento da mineração no Brasil permitiu que este setor ocupasse um patamar de proeminência na

[306] Ibidem.
[307] Germany, 2002, p. 7.
[308] Germany, 2002, p. 8.
[309] Germany, 2002, p. 9.

economia nacional. No que se relaciona aos impactos macroeconômicos pode-se fazer menção de importantes e expressivas contribuições. "As exportações minerais brasileiras contribuíram de forma decisiva para a mais impressionante virada da balança externa geral brasileira"[310], partindo de um cenário altamente negativo "no auge da crise cambial do real no final da década de 1990 para o valor positivo anual de US$ 50 bilhões em 2010."[311]

A Figura 8 representa um comparativo do valor financeiro de exportações de Minério de Ferro com as exportações do setor mineral, expondo a elevada movimentação econômica envolvida no setor minerário.

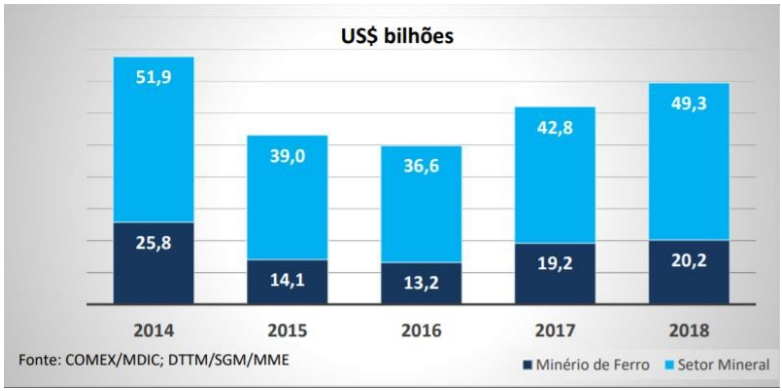


Figura 8 – Exportações de Minério de Ferro e Exportações do Setor Mineral[312]

Apesar de modesta a contribuição do setor de mineração em relação ao PIB (Produto Interno Bruto) da economia brasileira, que se apresenta como relativamente diversificada, a indústria extrativa como um todo responde por 4,69% do PIB total, em

[310] ICMM, 2013, p. 6.
[311] Ibidem.
[312] Brasil. Ministério de Minas e Energia, 2018.

2017. A variação anual deste valor é demonstrada na Figura 9 evidenciando suas variações percentuais.

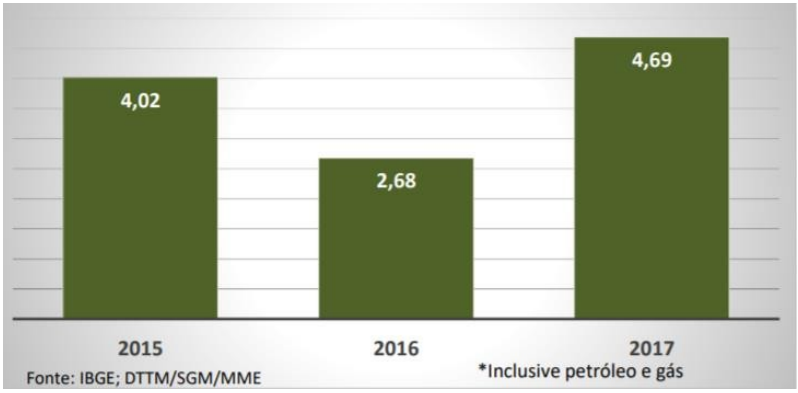


Figura 9 – Participação do Setor Mineral no PIB brasileiro (%)[313]

Todo o desenrolar da história da mineração no Brasil aponta para um setor econômico de importância fundamental para o crescimento do país; este florescimento e expansão auxiliou a desenvolver a economia nacional e reduzir a pobreza nas regiões mais carentes. Assim, a mineração encontra-se entre os diversos setores que sustentaram o desempenho econômico do país.[314]

3.1.2 A Regulamentação da Mineração no Brasil

A regulamentação da mineração no Brasil remonta ao século XVII quando o Códigos Mineiros de 1603 e 1618 vigorava, admitindo a livre exploração das minas, e impondo rigorosa fiscalização na cobrança de impostos.[315]

Com a descoberta do ouro e o desenvolvimento das Minas Gerais, foi criado o código mineiro de 1603 e 1618 e o regimento de 1702.

[313] Ibidem.
[314] Brasil, 2018.
[315] Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016.

> O Código Mineiro estabelecia que todos os súditos do rei podiam extrair livremente o ouro, desde que reservassem para a Real Fazenda a quinta parte do produto. Autorizava a criação de Casas de Fundição para onde deveria ser levado todo metal extraído para ser fundido em barras, depois de deduzida a parte do imposto. Demarcava as terras chamadas 'minerais'. Criava o cargo de provedor específico para a região aurífera, ele seria o responsável pela fiscalização das jazidas e a cobrança do quinto (o regimento de 1618 ampliou os poderes deste provedor no tocante à cobrança de impostos).[316]

A Constituição da Republica de 1891 criou o vínculo entre a propriedade do subsolo à propriedade do solo, entretanto, no ano de 1931 o então Presidente Getúlio Vargas defendeu a necessidade de nacionalização das reservas minerais do Brasil. "Por conseguinte, a Constituição de 1934 previu a separação da propriedade do solo e do subsolo."[317] Nesse mesmo ano criou-se o Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), com a finalidade explicita de gerir e fiscalizar a atividade de mineração em território nacional.[318]

> Em sintonia com a tendência centralizadora do Estado Novo, a mineração, considerada atividade estatal estratégica, foi alçada a patamar de relevo com a criação da Companhia Siderúrgica Nacional – CSN (1941) e da Companhia Vale do Rio Doce – CVRD (1942). A importância desse segmento repercutiu na decisão estatal de criação do Minitério das Minas e Energia em 1960, quando o DNPM foi incorporado à estrutura do novo ministério. A Lei 4.425/1964, que estabeleceu o Imposto Único sobre Mineral – IUM, também é contemporânea a esse período.[319]

No fim da década de 60 foi instituído o Código de Mineração Brasileiro que posteriormente sofreu diversas alterações através da Lei 6.567/78, Lei 7.805/89, da Emenda Constitucional 6/1995 e da Emenda Constitucional 46/2005, além da publicação de uma nova redação do Código de Minas de 1940 através do Decreto-lei 227, de 27 de fevereiro de 1967.

---

316 Castro, 2010, p. 317-318.
317 Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016, p. 89.
318 Brasil, 2013.
319 Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016, p. 90.

A Lei 7.990/89 instituiu a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) "como prestação pecuniária destinada aos Estados, Distrito Federal e Municípios nos quais exista exploração mineral."[320] A obrigatoriedade no pagamento desta taxa ocorre como forma compensatória relacionada ao impacto "social e econômico que a mineração acarreta sobre o meio físico, a comunidade e a economia local e regional."[321]

Segundo Toledo, Ribeiro e Thomé (2016) a norma minerária vigente determina que o empreendedor deve pagar, com a finalidade de Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais, visando o aproveitamento econômico, "até 3% do valor do faturamento líquido resultante da venda do produto mineral, obtido após a última etapa do processo de beneficiamento adotado."[322]

Cabe destacar também que a variável ambiental ganhou lugar de importância explicitamente na legislação mineral somente após o advento da Portaria Interministerial MME/MINTER/MIC 917, de 06 de julho de 1982. Tal viés ambiental foi estabelecido "no nosso ordenamento sob o influxo dos princípios norteadores da Lei 6.938/81, recém-publicada, que estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA."[323]

A importante conciliação entre a atividade de exploração mineral e a preservação ambiental foi destacada pela portaria supracitada que obteve o mérito de estabelecer o caráter obrigatório da submissão dos projetos de mineração por parte dos empreendedores ao "órgão ambiental federal (SEMA, antecessora do IBAMA), condicionando seu parecer favorável para a concessão de incentivos fiscais ou financeiros."[324]

Após o estabelecimento desta obrigação o Estudo de Impacto Ambiental (EIA) tornou-se um documento exigido para a mineração por meio da Resolução Conselho Nacional do Meio

[320] Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016, p. 91.
[321] Ibidem.
[322] Ibidem.
[323] Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016, p. 92.
[324] Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016, p. 94.

Ambiente (CONAMA) 01/86. Seguidamente o Decreto 97.632, de 10 de abril de 1989, estabeleceu a imprescindibilidade do Plano de Recuperação de Área Degradada (PRAD), visando ao licenciamento ambiental.

> Art. 1° Os empreendimentos que se destinam à exploração de recursos minerais deverão, quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e do Relatório do Impacto Ambiental - RIMA, submeter à aprovação do órgão ambiental competente, plano de recuperação de área degradada. Parágrafo único. Para os empreendimentos já existentes, deverá ser apresentado ao órgão ambiental competente, no prazo máximo de 180 (cento e oitenta) dias, a partir da data de publicação deste Decreto, um plano de recuperação da área degradada. Art. 2° Para efeito deste Decreto são considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas de suas propriedades, tais como, a qualidade ou capacidade produtiva dos recursos ambientais. Art. 3° A recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização, de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a obtenção de uma estabilidade do meio ambiente. Art. 4° Este Decreto entra em vigor na data de sua publicação. Art. 5° Revogam-se as disposições em contrário.[325]

Torna-se necessário reconhecer que no momento atual "o fator meio ambiente é recorrente em diplomas normativos e atos executivos atinentes à mineração."[326] O próprio DNPM, valoriza o aspecto ambiental em seu firme compromisso com a sustentabilidade.[327]

> O licenciamento ambiental configura um dos instrumentos de gestão previstos na Política Nacional do Meio Ambiente - PNMA, Lei 6.938, de 31 de janeiro de 1981. A Política Nacional do Meio Ambiente, estabelecida através do referido diploma normativo, tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propicia à vida, visando assegurar condições

---

[325] Brasil, 1989.

[326] Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016, p. 96.

[327] Nota do Autor (2026): O DNPM foi extinto em 2017 e substituído pela Agência Nacional de Mineração (ANM), pela Lei nº 13.575/2017.

> ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses d segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana.[328]

A licença ambiental é composta por três etapas fundamentais que são denominadas de Licença Prévia (LP), Licença de Instalação (LI) e Licença de Operação (LO). De acordo com o artigo 8° da Resolução CONAMA 237/1997, a Licença de Operação é concedida somente após a verificação do cumprimento das exigências previstas nas licenças preliminares.

> I – Licença Prévia (LP) - concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade aprovando sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos e condicionantes a serem atendidos nas próximas fases de sua implementação; II – Licença de Instalação (LI) – autoriza a instalação do empreendimento ou atividade de acordo com as especificações constantes dos planos, programas e projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes, da qual constituem motivo determinante; III – Licença de Operação (LO) – autoriza a operação da atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento do que consta das licenças anteriores, com as medidas de controle ambiental e condicionantes determinados para a operação. Parágrafo único – As licenças ambientais poderão ser expedidas isolada ou sucessivamente, de acordo com a natureza, características e fase do empreendimento ou atividade.[329]

Este cenário regulatório é apresentado como ponto inicial para a perquirição da "evolução dos procedimentos administrativos necessários ao licenciamento das barragens de rejeito no Brasil e as novas tendências em relação ao gerenciamento dos resíduos da exploração mineral."[330]

---

328 Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016, p. 967.
329 Resolução CONAMA 237/97, art. 8°.
330 Toledo, Ribeiro e Thomé, 2016, p. 101.

3.2 Metodologias Preponderantes na Gestão de Rejeitos da Mineração[331]

Tendo sido evidenciada a importância e a complexidade da operação minerária, em conjunto com o ônus da geração de rejeitos e os potenciais danos econômicos e socioambientais ocasionados por uma falha na gestão residual[332], deve-se priorizar alternativas eficazes e viáveis que considerem a multiplicidade de fatores envolvidos e busquem uma sustentabilidade plena dos empreendimentos de gestão e disposição do rejeito mineral.

Ávila[333] afirma, no entanto, que apesar do aumento da preocupação por parte dos empreendedores e engenheiros com a questão da gestão dos rejeitos da mineração, as falhas ocorrem, podendo muitas vezes estarem relacionadas à falta de aplicação adequada dos métodos conhecidos, de projetos mal elaborados, de supervisão deficiente durante a construção, ou negligência de um ou mais aspectos da realidade que se encontram presentes no contexto do empreendimento.[334] De acordo com Silva:

> A mineração, evidentemente, causa um impacto ambiental considerável. Ela altera intensamente a área minerada e as áreas vizinhas, onde são feitos os depósitos de estéril e de rejeito. Além do mais, quando temos a presença de substâncias químicas nocivas na fase de beneficiamento do minério, isto pode significar um problema sério do ponto de vista ambiental.[335]

As diversas formas de disposição destes rejeitos se relacionam com o tipo de minério e de processos empregados no ao longo do beneficiamento. Ademais devido aos longos períodos de exploração surge a necessidade de "lavrar minérios cada

---

[331] Nota do Autor (2026): Desde a Lei nº 14.066/2020, a construção ou o alteamento de barragens de mineração pelo método a montante é proibido no Brasil. A descrição apresentada nesta seção tem, portanto, caráter histórico e comparativo.

[332] Rodrigues, 2017.

[333] Ávila, 2012.

vez mais pobres ou mais profundos, gerando assim uma produção de rejeito e material estéril maior."[336]

A construção de reservatórios criados por diques de contenção ou barragens são os principais métodos utilizados para a disposição de rejeitos[337], entretanto, "com a crescente dificuldade de liberação, por parte dos órgãos ambientais, de novas áreas para a disposição final dos resíduos de mineração"[338], a utilização de métodos como a disposição de rejeito espessado, disposição de rejeito filtrado, a disposição em cava subterrâ-

[334] Nota do Autor (2026): Quando este trabalho foi elaborado, a investigação concentrou-se na avaliação comparativa das tecnologias e metodologias disponíveis para gestão de rejeitos de mineração. Embora tais discussões permaneçam relevantes, atualmente não considero que a simples adoção de uma tecnologia específica seja capaz de enfrentar os problemas fundamentais associados à atividade minerária contemporânea. A maior parte dessas soluções opera como mecanismo de mitigação dentro de uma estrutura institucional já estabelecida, sem questionar os fatores econômicos, organizacionais e políticos que condicionam a própria produção dos riscos. Em retrospecto, reconheço que essa limitação decorre, em parte, das dificuldades encontradas na aplicação isolada da filosofia de Herman Dooyeweerd às questões empíricas abordadas neste estudo. Embora sua teoria ofereça uma poderosa crítica ao reducionismo, ela não fornece, por si só, um método suficientemente desenvolvido para a investigação de comunidades concretas. Estudos posteriores permitiram-me compreender melhor as contribuições do Pensamento Sistêmico Multimodal, desenvolvido por J. Donald R. De Raadt e Veronica D. De Raadt, cuja abordagem integra a teoria modal, o pensamento sistêmico e a análise histórica em um referencial voltado à investigação de comunidades e processos de desenvolvimento. Essa perspectiva ofereceu instrumentos mais adequados para compreender as relações entre mineração, tecnologia e comunidades locais (De Raadt, 2000; 2014; 2023; De Raadt, 2002). Tal desenvolvimento conduziu ao esboço de uma perspectiva comunitária da mineração, apresentada no capítulo final desta edição, na qual a questão central deixa de ser apenas a escolha do método de disposição de rejeitos e passa a incluir a própria escala da atividade minerária, sua forma de governança e sua relação com o desenvolvimento das comunidades afetadas.

[335] Silva, 2007, p. 2.

[336] Rodrigues, 2017, p. 2.

[337] IBRAM, 2016.

[338] Rodrigues, 2017, p. 15.

nea, disposição em cava a céu aberto[339] são possibilidades a serem adotadas por parte das mineradoras.

Com o aumento na geração de rejeitos as barragens convencionais adquirem "grandes dimensões, tornando-se um risco considerável a todo ecossistema a jusante"[340], criando a necessidade de estudos significativos em relação à disposição dos rejeitos visando "minimizar-se os riscos relacionados a essa importante etapa da atividade mineira."[341]

3.2.1 Aterro Hidráulico

De acordo com a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) existem no Brasil quatro tipos de barragens definidas conforme sua finalidade, sendo classificadas como barragens para geração de energia hidrelétrica, para contenção de rejeitos de mineração, barragens para contenção de rejeitos industriais e as de uso múltiplo da água.[342]

Neste método de disposição residual, a edificação de reservatórios criados por diques de contenção ou barragens são as principais metodologias utilizados para a disposição de rejeitos da mineração[343]. A construção destas barragens pode ser realizada utilizando-se solos, estéreis, material compactado proveniente de áreas de empréstimo, ou com o próprio rejeito, que devido seu grande volume acrescido aos custos da disposição, torna atrativo a utilização destes materiais na constituição das próprias barragens de contenção.[344]

"As barragens de contenção de rejeitos são estruturas construídas ao longo do tempo visando à diluição dos custos no processo de extração mineral, por meio de alteamentos sucessivos."[345] Deste modo, o processo construtivo é principiado com um dique de partida e sequencialmente a barragem passa por

---

339 Rodrigues, 2017.
340 Rodrigues, 2017, p. 2.
341 Ibidem.
342 Brasil, 2010.
343 IBRAM, 2016.
344 Perdigão, 2019.
345 IBRAM, 2016.

alteamentos no decorrer de sua vida útil, podendo ser construídas através dos métodos de montante, jusante ou linha de centro, como ilustrado na Figura 10.

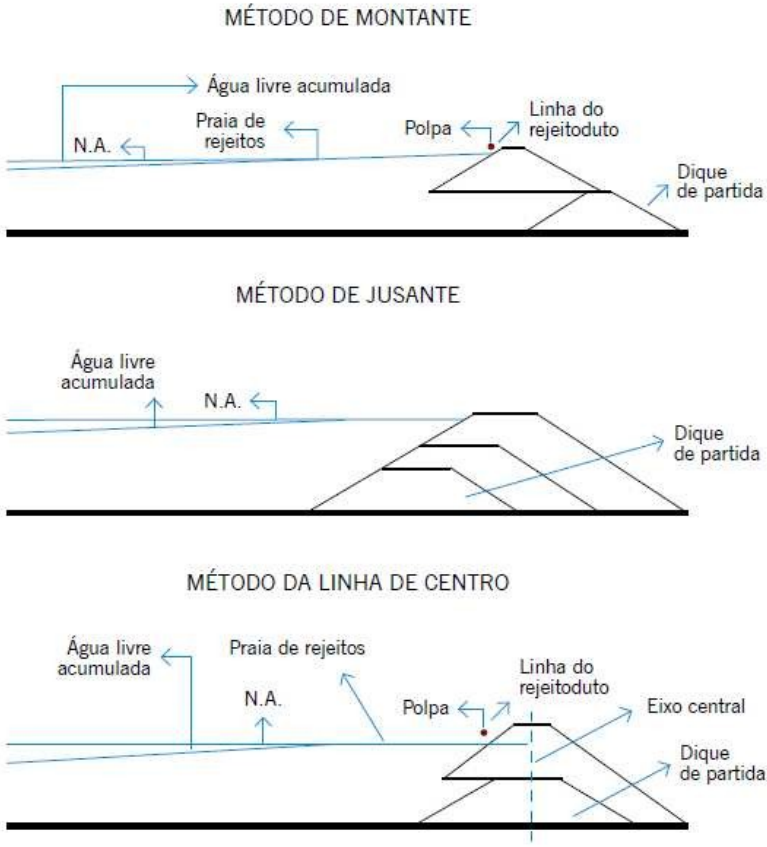


Figura 10 – Métodos de alteamento em barragens[346]

A escolha de um, entre os três métodos executivos do alteamento de barragens de rejeito, abrange e é dependente de múl-

[346] IBRAM, 2016, p. 18.

tiplos fatores, entre os quais pode-se mencionar o tipo de processo industrial, características geotécnicas e nível de produção de rejeitos, necessidade de reservar água, necessidade de controle de água percolada, sismicidade, topografia, hidrologia, hidrogeologia e custos envolvidos.[347]

O método de alteamento a Montante é tido como o mais antigo, com o maior grau de facilidade de execução e uma redução nos custos de construção.[348] Assim, as barragens alteadas pelo método de montante têm sido preferencialmente adotadas pelas mineradoras no Brasil e em diversos países onde este método é permitido.

No que se relaciona ao risco de tal empreendimento verifica-se que:

> Embora seja o mais utilizado pela maioria das mineradoras, o método de montante apresenta um baixo controle construtivo, tornando-se crítico principalmente em relação à segurança. O agravante neste caso está ligado ao fato de os alteamentos serem realizados sobre materiais previamente depositados e não consolidados. Assim, sob condição saturada e estado de compacidade fofo, estes rejeitos (granulares) tendem a apresentar baixa resistência ao cisalhamento e susceptibilidade à liquefação por carregamentos dinâmicos e estáticos.[349]

Além dos problemas mencionados ainda há grandes dificuldades na "implantação de um sistema interno de drenagem eficiente para controlar o nível d'água dentro da barragem"[350], o que constitui um grave problema gerando reflexos na estabilidade estrutural da barragem.

Devido tais particularidades e riscos eminentes na utilização deste método de alteamento, o decreto 46.993/2016[351] suspende todos os processos de licenciamento ambiental para barragens que optem por utilizar o método de alteamento à montante no estado de Minas Gerais.

---

347 Araujo, 2006.
348 IBRAM, 2016.
349 Araújo, 2006, p. 14.
350 Duarte, 2008.
351 Minas Gerais, 2016.

Visando a segurança em seu aspecto ambiental e socioeconômico, a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) define, de forma precisa, a segurança de barragens como "condição que vise a manter a sua integridade estrutural e operacional e a preservação da vida, da saúde, da propriedade e do meio ambiente"[352] e a gestão de risco por "ações de caráter normativo, bem como aplicação de medidas para prevenção, controle e mitigação de riscos"[353]. No que se refere a segurança de uma barragem a lei em questão defende que esta deve ser considerada "nas suas fases de planejamento, projeto, construção, primeiro enchimento e primeiro vertimento, operação, desativação e de usos futuros"[354] além da extrema importância do repasse de informações e constante estimulo à participação da população nas ações de prevenção e emergenciais.

Segundo Cardozo, Pimenta e Zingano outra característica relevante do método de alteamento à montante é a sua susceptibilidade à liquefação:

> Por ser construída sobre o material de rejeito depositado, o método de montante nos leva a uma maior dificuldade de controle das propriedades geotécnicas da zona em que é realizada o alteamento, ou seja, rejeito adensado. De acordo com Araújo (2006) e Martin e McRobert (1999), pelo fato dos alteamentos serem realizados sobre materiais previamente depositados e não consolidados, estes estão em condição saturada e tendem a apresentar baixa resistência ao cisalhamento e susceptibilidade à liquefação por carregamentos dinâmicos e estáticos.[355]

De acordo com Pereira o fenômeno da liquefação teve sua primeira explanação realizada por Terzaghi em seu livro *Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage*, publicado em 1925. Nesta obra Terzaghi afirma que "a liquefação só poderia ocorrer na situação em que uma determinada estrutura de grande porte, apoiada em um depósito sedimentar, apresentasse

---

352 Brasil, 2010.
353 Ibidem.
354 Ibidem.
355 Cardozo, Pimenta e Zingano, 2016, p. 82.

uma condição por ele caracterizada como sendo metaestável."[356]

De modo simplificado, a liquefação pode ser entendida como uma ação de conduzir "qualquer substância de seu estado natural ao estado fluido e, no caso dos solos, do estado sólido para o estado liquefeito."[357] Como bem conhecido, a resistência ao cisalhamento de solos granulares está profundamente relacionada ao atrito entre as partículas. A Figura 11 apresenta de forma reduzida a sequência do processo da liquefação, corroborando que a causa primaria da "perda de resistência ao cisalhamento dos materiais de natureza granular"[358] se encontra na crescente perda do atrito entre as partículas durante o fenômeno.

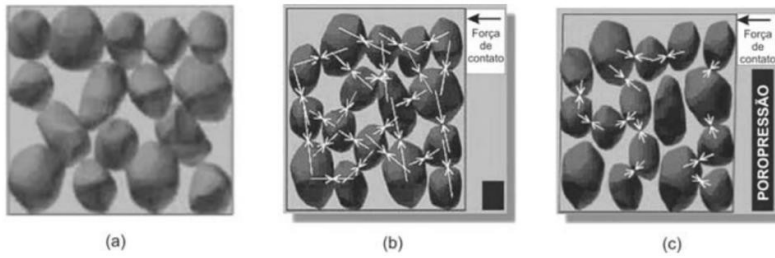


Figura 11 – Sequência geral do processo da liquefação[359]

Dentro os diversos fatores que podem influenciar no fenômeno da liquefação os mais comuns são a distribuição granulométrica e teor de finos, a compacidade e arranjo estrutural, a composição mineralógica, a condutividade hidráulica, a natureza e velocidade de carregamento.

> Portanto, os depósitos de rejeitos granulares podem ser caracterizados como estruturas altamente susceptíveis à liquefação, mes-

[356] Pereira, 2005, p. 34.
[357] Pereira, 2005, p. 36.
[358] Pereira, 2005, p. 37.
[359] Ibidem.

> mo sob carregamentos essencialmente estáticos, uma vez que a técnica que envolve a disposição em aterros hidráulicos e o método de montante são potencialmente críticos para o armazenamento de materiais em condição fofa e saturada.[360]

O Método de Jusante, segundo Lozano[361], recebe esta nomenclatura pois nos alteamentos o eixo da barragem se desloca para jusante. O processo construtivo de uma barragem segundo este método inicia-se na construção de um dique inicial impermeável, composto por uma drenagem interna, a qual possui um filtro inclinado e tapete drenante.

> Neste método os rejeitos são ciclonados e o "*underflow*" é lançado no talude da jusante. Somente são utilizados os rejeitos grossos no alteamento, os quais são compactados quando as características de umidade da zona o permitam; também se pode utilizar material de empréstimo, ou estéril proveniente da lavra.[362]

Conforme a Figura 12 pode-se perceber variações do método de alteamento à Jusante, nas quais são construídos um dique inicial e um dique de enrocamento; "os rejeitos ciclonados vão sendo depositados entre essas duas estruturas para formar os alteamentos."[363] Neste método, entretanto, a quantidade de rejeitos deve ser maior do que a adotada no método de alteamento à jusante convencional.

---

[360] Pereira, 2005, p. 40.
[361] Lozano, 2006.
[362] Lozano, 2006, p. 11.
[363] Ibidem.

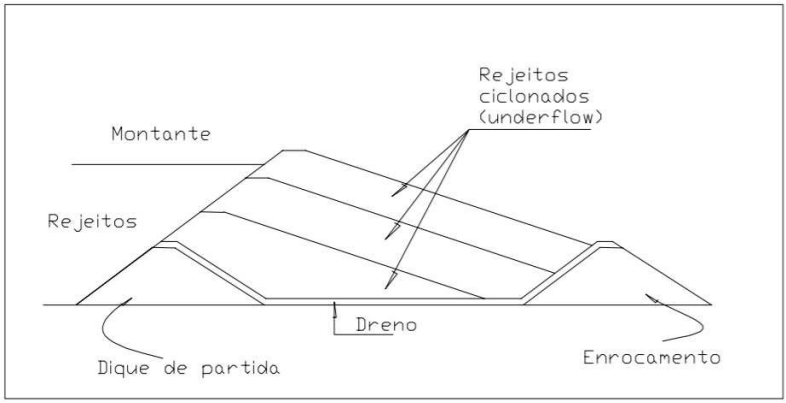


Figura 12 – Método de Jusante com enrocamento[364]

De acordo com Klohn[365], o processo de alteamento para jusante apresenta vantagens significativas que consistem "no controle do lançamento e da compactação, de acordo com técnicas convencionais de construção"[366], também é de grande relevância o fato de que nenhum dos alteamentos é edificado sobre o rejeito previamente depositado. Em relação aos sistemas de drenagens, estes podem ser instalados ao longo do processo de construção da barragem e prolongados durante seu alteamento, "permitindo o controle da linha de saturação na estrutura da barragem e aumentando sua estabilidade."[367] Além destes fatores, o método de alteamento à jusante permite com que todas as especificações de projeto sejam atendidas, permitindo a apresentação de "resistência necessária ou requerida, inclusive resistir a qualquer tipo de forças sísmicas, desde que projetadas para tal".[368]

---

[364] Ibidem.
[365] Klohn, 1981.
[366] IBRAM, 2016, p. 20.
[367] Ibidem.
[368] Ibidem.

Entretanto, não obstante os diversos benefícios fornecidos, as barragens alteadas pelo método de jusante carecem de maiores volumes de material para construção, o que ocasiona uma considerável elevação nos "custos associados ao processo de ciclonagem ou ao empréstimo de material".[369] A área ocupada pelo sistema de contenção de rejeitos também apresenta um tamanho consideravelmente maior, devido ao progresso da estrutura para jusante em função do acréscimo da altura.

O terceiro método de alteamento é denominado de Método de alteamento de Linha de Cento pois o eixo da barragem mantêm-se na mesma posição enquanto ela é elevada.[370] Segundo Chambers e Higman[371], este método pode ser considerado uma alternativa mista da elevação a jusante, sendo uma posição intermediaria entre os dois métodos citados anteriormente em relação a sua estabilidade sísmica e os custos envolvidos, apresentando vantagens presentes em ambos os métodos, e buscando minimizar suas desvantagens.

Segundo Lozano[372], a construção da barragem seguindo este método de alteamento inicia-se pela edificação de um dique de partida, sendo que o rejeito é lançado de modo periférico em relação à crista do dique até formar uma praia, em sequência, o próximo alteamento é formado pelo lançamento de materiais advindos de "empréstimo, estéril da mina ou *underflow* de ciclones, sobre o limite da praia anterior e no talude de jusante do maciço de partida, mantendo o eixo coincidente com o eixo do dique de partida."[373]

O comportamento geotécnico do método de alteamento por linha de centro assemelha-se mais a barragens alteadas para jusante, onde o alteamento da crista é efetivado de forma vertical, sendo este eixo coincidente com o eixo do dique de partida.[374] Este método possibilita a utilização das zonas de drena-

[369] Ibidem.
[370] Lozano, 2006.
[371] Chambers e Higman, 2011.
[372] Lozano, 2006.
[373] Rodrigues, 2017, p. 14.
[374] Assis e Espósito, 1995.

gem internas em todas as fases de alteamento, permitindo o controle preciso da linha de saturação e promovendo uma dissipação de poropressões, o que torna o método apropriado para uso inclusive em áreas de alta sismicidade.[375]

Com o objetivo de sumarizar os benefícios e malefícios apresentados em cada um dos métodos de alteamento para barragens de rejeito a Figura 13 demonstra, através de comparações, as principais características dos métodos de alteamento de barragens de rejeito anteriormente apresentados:

	Montante	Jusante	Linha de centro
Tipo de rejeito	Baixa densidade para que ocorra segregação	Qualquer tipo	Areias de lamas de baixa plasticidade
Descarga de rejeitos	Periférica	Independe	Periférica
Armazenamento de água	Não recomendável para grandes volumes	Bom	Aceitável
Resistência a abalos sísmicos	Baixa	Boa	Aceitável
Alteamentos	Ideal menos 10 m/ano	Nenhuma restrição	Pouca restrição
Vantagens	Menor custo, utilizado onde há restrição de área	Maior segurança	Flexibilidade construtiva
Desvantagens	Baixa segurança suscetibilidade a liquefação e *piping*	Grande quantidade de material requerido proteção do talude a jusante apenas na configuração final	Necessidade de eficiente sistema de drenagem

Figura 13 – Resumo comparativo dos principais métodos construtivos de barragens de rejeito[376]

Independente da metodologia de alteamento adotada na execução do empreendimento de gestão residual uma das melhores práticas que visam diminuir os riscos inerentes a este tipo de obra geotécnica é a implantação de um sistema de drenagem interno eficiente visando o abatimento da superfície freática.[377]

[375] IBRAM, 2016.
[376] Cardozo, Pimenta e Zingano, 2016, p. 82.
[377] Gomes, 2010.

3.2.2 Disposição em Cava Subterrânea

A disposição de rejeitos em aberturas de cavas subterrâneas, quer na forma de polpa, pasta ou material consolidado, geralmente é realizada simultaneamente com o "método de lavra chamado de corte e enchimento, onde o material preenche os realces gerados pela explotação do minério."[378] Neste método de disposição, são escolhidas e executadas duas técnicas de preenchimento de minas subterrâneas em função da demanda da operação. A primeira destas técnicas "corresponde à necessidade de preenchimento para formar um novo piso, a ser utilizado para desmontar a fatia de minério imediatamente acima da área lavrada."[379] Em tal caso, o preenchimento ocorre de forma obrigatória em conjunto com a lavra do minério, havendo a possibilidade de ser executado com a utilização dos rejeitos misturados com estéril e areias. A segunda técnica é aplicável em situações que o "preenchimento da câmara ou realce é necessário para garantir a manutenção permanente da estabilidade do maciço rochoso."[380] Assim, o preenchimento pode ocorrer ao longo do processo de lavra ou durante o próprio fechamento da mina, sendo realizado com argamassa constituída de rejeito (*pastefill*) ou estéril, areia e cimento, com a finalidade de se obter melhores propriedades geotécnicas para a mistura.

> A deposição subterrânea pode ter certos méritos em casos especiais, nos quais os rejeitos podem ser considerados inertes e sem perigos potenciais. No entanto, muitos rejeitos com o tempo podem gerar poluentes (por exemplo, a percolação d'água através dos rejeitos pode dissolver vários poluentes metálicos, pode ocorrer oxidação do enxofre e produção de ácidos, por redução do pH) e, portanto, contaminar águas subterrâneas. Os rejeitos podem ser bombeados diretamente na cava da mina, ou pode-se retirar água dos mesmos para melhorar suas características de deposição; isto depende dos métodos de extração do minério.[381]

---

[378] Rodrigues, 2017, p. 17.
[379] Ibidem.
[380] Ibidem.
[381] Lozano, 2006, p. 17.

Conforme assinalado por Vick[382], o retorno dos rejeitos à mina é comumente realizado com o objetivo de proporcionar um piso de trabalho para as atividades de extração de minério, proporcionar suporte às paredes das escavações subterrânea e maximizar a recuperação do corpo do minério.

3.2.3 Disposição em Cava a Céu Aberto

De acordo com Portes[383], a disposição em cava a céu aberto também denominada de "disposição em pit", constitui-se da acomodação de rejeito em minas já exauridas ou naquelas onde ainda há execução do trabalho de extração de mineral, não sendo necessária a construção de diques.[384] Dentre as principais características desta metodologia de disposição de rejeitos Ritcey[385] descreve primeiramente a facilidade quanto a cobertura final do projeto assegurando uma erosão mínima e boa drenagem, em sequência é importante destacar a possibilidade de realizar a extração por um período de tempo e somente depois os rejeitos serão depositados.

Para os primeiros estágios da deposição de rejeitos é construído um pequeno "pit", que impacta em diversas particularidades deste método de alteamento, entre eles a necessidade de impermeabilização.

> Os parâmetros hidrogeológicos, considerando a migração de poluentes e percolação, não são conhecidos com exatidão, então se a rocha de encaixe do minério não for suficientemente impermeável, precisa-se de impermeabilização (geomembrana ou argilas) nos taludes do "pit"[386]

A Figura 14 apresenta dois tipos de deposições, quando a extração do minério foi completa (Figura 14a), e quando a deposição é feita ao mesmo tempo do que a extração de minério (Figura 14b).

---

382 Vick, 1983.
383 Portes, 2013.
384 Rodrigues, 2017.
385 Ritcey, 1989.
386 Lozano, 2006, p. 19.

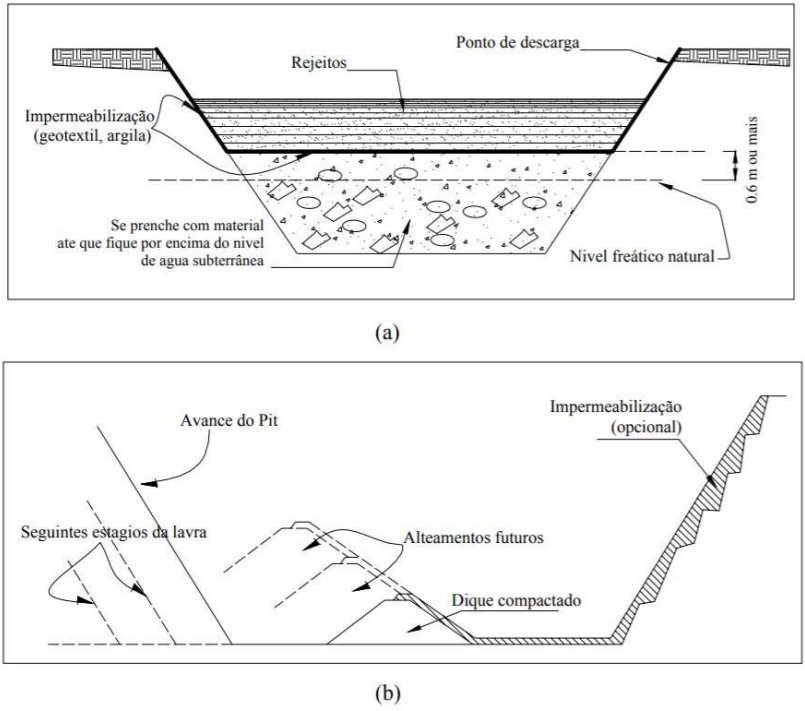


Figura 14 – Deposição em "pit": (a) Extração do minério total. (b) Deposição feita ao mesmo tempo do que a extração do minério[387]

A disposição de rejeitos da mineração em cavas a céu aberto tem sido adotada "com a finalidade de reduzir a disposição na barragem de rejeito existente e eliminar a implantação de nova barragem ou aumentar a vida útil da barragem existente."[388] Além dos benefícios estruturais, esta prática propicia diversas vantagens ambientais para uma barragem já existente tais como: "maior capacidade do reservatório da barragem; não pro-

[387] Lozano, 2006, p. 18.
[388] IBRAM, 2016, p. 32.

voca saturação do dique; menores riscos a jusante; e melhores possibilidades de revegetação no fechamento da barragem."[389]

3.2.4 Disposição de Rejeito Espessado

O conceito de disposição de rejeitos espessados foi primeiramente introduzido por Robinsky no ano de 1968. Este método de disposição de rejeitos derivados do trabalho minerário consiste no "aumento da concentração de sólidos em peso, por meio do desaguamento da polpa e consequente aumento do teor de sólidos."[390] Ao longo deste processo utiliza-se espessadores que atuam com o objetivo de separar o material sólido do composto líquido através de processos de sedimentação de partículas por gravidade e com o auxílio de reagentes.[391]

O uso deste método tem sido considerado uma alternativa viável e de extrema importância para a atividade mineraria na disposição do rejeito da mineração, visando aos potenciais riscos intrínsecos à disposição residual em forma de polpa nas barragens convencionais e o impacto ambiental causado por estas estruturas, incluso em eventuais rupturas.[392]

A disposição do rejeito espessado tem sido apresentada como uma tecnologia eficaz no que tange à segurança estrutural. Muitos países como o Peru, Canadá e Austrália adotaram esta técnica e demonstram o sucesso de seus empreendimentos, garantindo o ganho ambiental, a redução de custos no descomissionamento e a recuperação de água.[393]

Rodrigues afirma que o funcionamento de um espessador convencional constitui-se na alimentação da polpa, acompanhada pela sedimentação das partículas minerais. "Na parte superior do tanque a água clarificada (*overflow*) transborda, enquanto que as partículas sedimentadas (*underflow*) são direcio-

[389] Ibidem.
[390] Rodrigues, 2017, p. 19.
[391] Portes, 2013.
[392] Ibidem.
[393] Ibidem.

nadas por pás até o cone de descarga."[394] Uma seção típica de um espessador convencional pode ser vista na Figura 15.

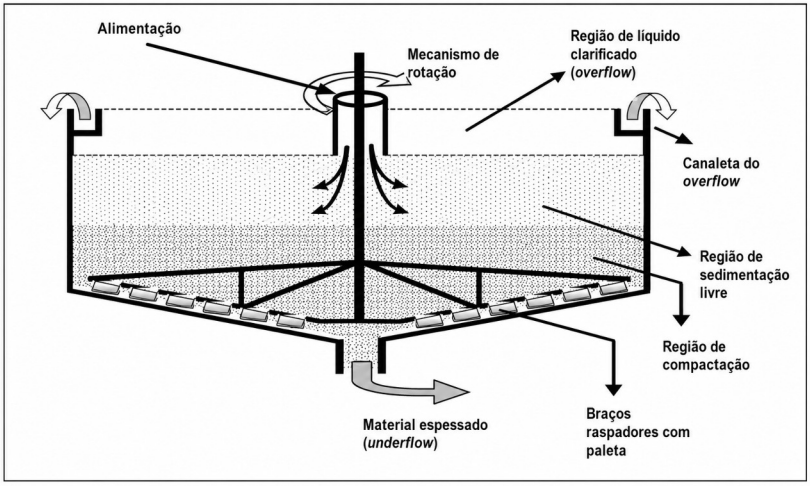


Figura 15 – Seção Vertical de um espessador convencional[395]

Na Figura 16 é possível observar o desenvolvimento histórico e técnico dos espessadores através da geometria destes equipamentos que tiveram sua área em planta reduzida e sua altura majorada.

[394] Rodrigues, 2017, p. 20.
[395] França, 2007, p. 406.

Tempo	Tipo	Forma	Características
	Convencional		Ação ineficiente do floculante, Grande área, Ø até 150m, Obtém baixa densidade.
	High Rate ou *High Capacity*		Adição de floculante, Menor área se comparado ao Convencional, Obtém densidade similar ao Convencional.
	High Density		Menor área e maior altura que o *High Capacity*, Obtém máxima densidade.
	Deep Cone		Aumento da altura em relação ao *High Density*, Maior redução de área, Produção de pasta.

Figura 16 – Tipos de espessadores comumente utilizados para o espessamento de rejeitos de minério de ferro[396]

Como consequência do aumento da densidade da polpa têm-se o rejeito desaguado, ou polpa de alta densidade. Nesta consistência, a polpa ainda apresenta "segregação e liberação de água em pequenas quantidades, sendo o transporte deste material também condicionado à sua velocidade crítica"[397] e realizado através de bombas de deslocamento positivo. Tais fatores permitem que o transporte via tubulação seja interrompido

[396] Portes, 2013 p. 22.
[397] Portes, 2013, p. 23.

por um curto período, sem tamponamento dos tubos e sedimentação de sólidos.

Os aspectos que se relacionam com à fluidez e consistência dos rejeitos espessados são obtidas por meio ensaios de "*slump test*", conforme procedimento de ensaio padronizado pela NBR NM 67[398].

> A conformação durante a disposição também pode ser previamente avaliada. Para tanto, ensaios de "flume test", ou teste de calha, podem ser realizados para se conhecer o ângulo final de disposição. Este aspecto é importante, pois a partir do momento em que se aumenta o teor de sólidos é possível obter ângulos de disposição maiores e, consequentemente, maior volume disposto.[399]

A disposição de polpas e pastas e os ângulos obtidos para maiores disposições e volumes é ilustrado conforme Figura 17.

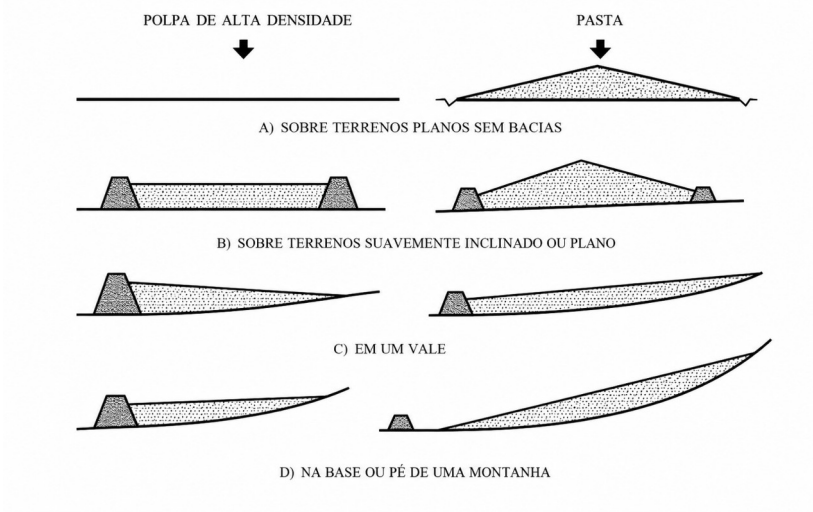


Figura 17 – Croquis qualitativos de disposição de polpas e pastas[400]

[398] ABNT, 1998.
[399] Portes, 2013, p. 24.
[400] Portes, 2013 p. 25.

Diante dos conceitos apresentados destacam-se as vantagens obtidas pela utilização de tal metodologia na gestão e disposição dos rejeitos, em comparação com as demais técnicas. Em primeiro lugar, no que se relaciona ao impacto ambiental, além da "redução da água armazenada no depósito de disposição de rejeitos, reduzindo custos do sistema de disposição"[401] deve-se levar em consideração "a área impactada, tendo em vista a necessidade de barragens de contenção de água."[402]

A possibilidade de uso do rejeito espessado como material de fundação e "e as melhores características de permeabilidade e estabilidade, associadas à menor área ocupada"[403] também devem ser vista como uma característica benéfica deste tipo de empreendimento, pois em caso de ruptura, o fluxo de rejeito é menor e mais facilmente controlado, tornando-se um problema limitado ao aspecto local.

De acordo com Rodrigues

> o espessamento é realizado com as seguintes finalidades: obtenção de polpas de concentrados adequadas a uma determinada operação subsequente, visando transporte e descarte mais eficazes e recuperação de água para reciclo industrial e recuperação de sólidos ou solução de operações de lixiviação, utilizados em processos hidrometalúrgicos.[404]

Não obstante, Portes[405] e Rodrigues[406] afirmam a necessidade de se considerar a existência de aspectos limitadores e desvantajosos na aplicação da tecnologia de espessamento de rejeitos. Dentre tais desvantagens destacam-se a necessidade de utilização de mão de obra especializada, a inviabilização do projeto convencional devido condições topográficas, a necessidade de um alto nível de tecnologia e infraestrutura locais, au-

401 Portes, 2013, p. 31.
402 Ibidem.
403 Portes, 2013, p. 32.
404 Rodrigues, 2017, p. 19.
405 Portes, 2013.
406 Rodrigues, 2017.

mento do consumo de energia, necessidade da construção de uma barragem com a finalidade de reservar a água extraída dos rejeitos e coleta da água pluvial, além de elevados custos relacionados à infraestrutura.

Tais fatores fazem com que esta metodologia seja melhor aplicada em "condições de disposição em topografias planas, principalmente em ambientes de intensa pluviometria."[407]

3.2.5 Disposição de Rejeito Filtrado

Conforme afirmado por Guimarães[408], pode-se definir a filtragem de rejeitos "como uma operação unitária de separação dos sólidos contidos em uma suspensão aquosa mediante a passagem da polpa através de um meio filtrante, que retém as partículas sólidas e permite a passagem do líquido."[409] Nesta operação o líquido que transpassa o meio filtrante é denominado de filtrado e o composto sólido que permanece retido constitui a torta.

O processo de filtragem pode ser classificado em filtragem úmida, onde o rejeito é denominado de *wet cake* ou filtrados a seco, o qual recebe a nomenclatura de *dry cake*. Segundo Portes[410] o rejeito submetido ao processo de filtragem úmida apresenta grau de saturação próxima de 100%, enquanto o rejeito filtrado a seco pode apresentar um grau de saturação que caria de 70 a 85%.

"A teoria clássica de filtragem considera como ponto de partida o fluxo de líquido através de um meio poroso (torta) não compressível, descrito por uma relação empírica conhecida como Lei de Darcy"[411]:

$$K . \Delta P . A \; \Delta P . A \; Q = = LR. \quad . \square \square$$

Onde,

Q = fluxo do filtrado

[407] Rodrigues, 2017, p. 23.
[408] Guimarães, 2011.
[409] Rodrigues, 2017, p. 23.
[410] Portes, 2013.
[411] Guimarães, 2011, p. 24.

K = permeabilidade do leito

ΔP = diferencial de pressão através da torta e do meio filtrante

A = área transversal ao fluxo (área filtrante)

□ = viscosidade do filtrado

L = espessura do meio filtrante + torta

R = L / K = resistência oferecida ao leito de filtrado

Tal equação demonstra que a velocidade de filtragem, definida pelo volume de material filtrado que transpassa o elemento filtrante por unidade de tempo, é "diretamente proporcional à área de filtragem, à permeabilidade do leito e ao diferencial de pressão e inversamente proporcional à espessura da torta e à viscosidade do filtrado, entre outros parâmetros"[412], permitindo a percepção das muitas variáveis que influenciam o bom funcionamento de um processo de filtragem de rejeitos de minérios.

A história da disposição de rejeitos foi narrada por Cadwell e Zyl[413], iniciando com o método de aterro hidráulico até as metodologias mais recentes como os rejeitos espessados, filtrados e alterados por polímeros. De acordo com Portes[414], o método de pilha de rejeito filtrado e compactado é citado pela primeira vez em um artigo de autoria de Robertson[415], onde era sugerida a ideia de implementação do método como uma inovação tecnológica na disposição de rejeitos da mineração para a mina *Greens Creek*, no Alaska. Atualmente, Davies[416] afirma, a técnica de filtragem de rejeitos tem se tornado usual em muitas minas ao redor do mundo.

De acordo com Guimarães[417], para que ocorra a filtragem, "é necessária a existência de uma força incidente sobre as partículas através de um meio poroso e pode ser conseguida atra-

412 Guimarães, 2011, p. 25.
413 Caldwell e Zyl, 2011.
414 Portes, 2013.
415 Robertson, 1986.
416 Davies, 2011.
417 Guimarães, 2011.

vés de: gravidade, vácuo, pressão ou centrifugação."[418] Deste modo, na filtragem a vácuo, cria-se "uma pressão negativa abaixo do meio filtrante, enquanto que, na filtragem sob pressão, uma pressão positiva é aplicada na polpa."[419] Há também a existência de processos como a filtragem hiperbárica onde combina-se vácuo e pressão e a filtragem capilar que se beneficia da ação dos capilares de meios cerâmicos porosos combinados com a de aplicação de vácuo.

> É comum classificar os filtros a vácuo de acordo com a posição relativa da polpa alimentada, em filtros com alimentação por cima (caso do filtro horizontal de correia) ou alimentação por baixo (caso do filtro de disco convencional). A alimentação por baixo é limitada a polpas que possam ser mantidas em suspensão mediante agitação moderada.[420]

Durante o ciclo de filtragem há a formação de uma camada de partículas sólidas, denominada torta, que permanece retida no tecido filtrante por meio da ação da força de vácuo aplicada no momento em que os discos se encontram submersos na bacia.[421] No momento da emersão inicia-se a etapa de secagem, na qual a água é extraída da polpa resultando em uma umidade residual. O material filtrado "passa através do meio filtrante para dentro do setor e deste para o eixo central, de onde é encaminhado para o vaso separador."[422] Por fim a descarga da torta é executada através do uso de ar comprimido. A Figura 18 apresenta o ciclo de filtragem de um filtro de disco convencional.

[418] Guimarães, 2011, p. 27.
[419] Rodrigues, 2017, p. 23.
[420] Rodrigues, 2017.
[421] Guimarães, 2011.
[422] Guimarães, 2011, p. 32.

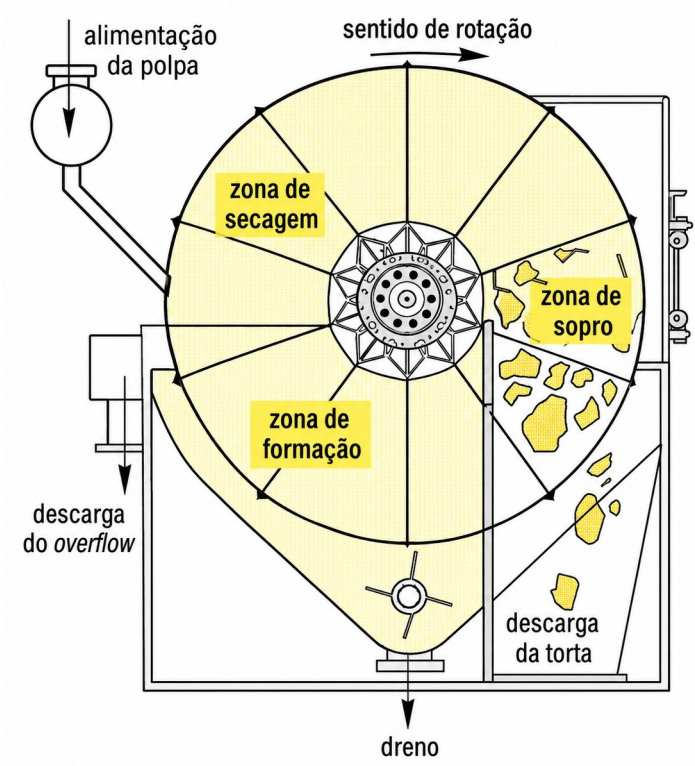


Figura 18 – Ciclo de filtragem de um filtro de disco convencional[423]

Conforme assegurado por Guimarães (2011), a filtragem a vácuo ou através de pressão têm sido o método mais usual nas usinas de minério de ferro, como pode-se perceber nos filtros de discos convencionais e filtros horizontais de correia, que operam a partir do vácuo e são altamente utilizados na filtragem dos produtos *pellet feed* e *sinter feed*, respectivamente.

> A filtragem a vácuo caracteriza-se pela aplicação de uma pressão negativa (subatmosférica) através do meio filtrante, realizada por

[423] Ibidem.

> bombas de vácuo. Os equipamentos de filtragem a vácuo são sempre contínuos, mas realizam diversas 29 tarefas, dentro de um espaço de tempo (ciclo), como: formação de torta, secagem, lavagem (raramente aplicada na indústria mineral) e descarga da torta. A formação da torta é realizada colocando-se o meio filtrante em contato com a polpa, sob ação do vácuo. A torta pode ser formada pela deposição do material sobre o meio filtrante (caso dos filtros horizontais) ou pela aspiração do material sólido para junto do meio filtrante (caso dos filtros de discos e de tambor). Na secagem, realizada ainda sob ação do vácuo, há uma retirada da água presa à estrutura da torta. A lavagem da torta é uma etapa da filtragem muito comum nas indústrias químicas e metalúrgicas, isto porque o produto valioso é o filtrado e a torta, o resíduo (sem valor econômico). No caso da indústria mineral, a etapa de lavagem é raramente aplicada. É conhecida sua aplicação na filtragem do caulim (filtros de tambor rotativo) para melhorar a reologia do produto filtrado, pela redução da quantidade de sais solúveis presentes na torta. A descarga é a tarefa final onde a torta formada é descarregada e pode ser realizada através de diversas formas. No caso dos filtros de discos convencionais, o fluxo de ar é invertido e ocorre o sopro de ar no meio filtrante.[424]

O sistema de filtragem convencional consiste "do filtro, dos sistemas de transporte da torta e transporte do filtrado, das linhas de vácuo e da bomba de vácuo."[425] A tubulação de vácuo é composta por um trecho em anel, unindo os filtros a um vaso separador, do qual saem duas tubulações direcionadas para a bomba de vácuo, realizando o transporte do ar e para o tanque onde o filtrado é descarregado. Como se percebe na Figura 19, a altura da tubulação vertical descendente "deve ser maior que a coluna de água correspondente á depressão do circuito de vácuo, e é denominada perna barométrica."[426]

---

[424] Guimarães, 2011, p. 29.
[425] Ibidem.
[426] Guimarães, 2011, p. 30.

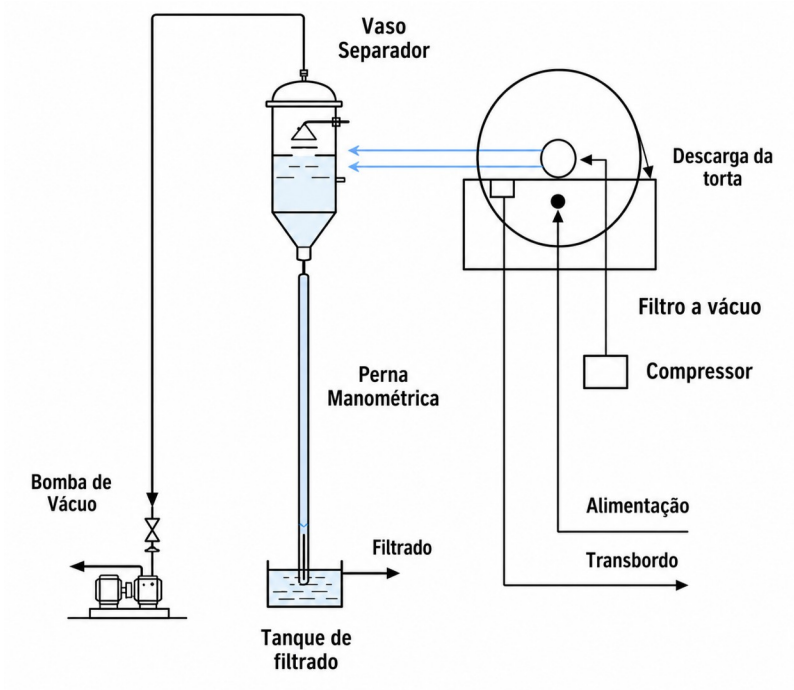


Figura 19 – Desenho esquemático do sistema de filtragem a vácuo[427]

As vantagens obtidas através da utilização do método de disposição de rejeitos filtrados são as mesmas atribuídas ao rejeito espessado, obtendo-se, entretanto, "melhores resultados devido à maior eficiência de desaguamento"[428], devendo ser considerado, entretanto, a percentagem de lama presente.

Segundo Davies[429] a recuperação de água do sistema, que permite um balanço entre o custo de capital e os custos de operação, e as condições topográficas são os dois principais motivos que levam à escolha da técnica de filtragem de rejeitos.

---

427 Ibidem.
428 Portes, 2013, p. 37.
429 Davies, 2011.

Na atualidade, em vista do considerável aumento da geração de rejeito advindo da atividade minerária e a limitação de espaço físico para a sua disposição, a adoção da gestão de rejeitos filtrados tem se tornado uma alternativa bastante atrativa para as mineradoras.[430]

3.3 Escolha do Método

O processo de escolha criteriosa do método de gestão e manejo do rejeito da mineração se reveste da mais alta relevância, considerando as características próprias desse tipo de empreendimento:

> localização quase sempre próxima ao depósito mineral e, na maioria das vezes, distante dos centros urbanos; uso intensivo de capital e longo prazo de maturação; dimensionamento e processo de beneficiamento específico para cada depósito mineral; limitação na disponibilidade do bem mineral, face ao caráter não renovável das reservas minerais.[431]

Tais aspectos, inerentes ao setor mineral, estabelecem a necessidade de uma análise de viabilidade detalhada, "a partir de projetos bem elaborados, objetivando minimizar os riscos do empreendimento"[432], que ofereça respaldo para a decisão de investir. As diversas e graves consequências que decorrem de falhas ao longo da elaboração do projeto e em sua análise "podem acarretar grandes prejuízos financeiros e, em alguns casos, resultam na inviabilidade do empreendimento."[433]

No processo de elaboração de uma análise de viabilidade de projetos de mineração, e especificamente de gestão dos rejeitos, deve-se em primeiramente realizar um estudo de mercado que evidencie a aceitabilidade dos produtos ou métodos, quanto à sua qualidade e segurança, firmando, se possível, acordos comerciais ou contratos a longo prazo que visem a estabilidade

---

430 Portes, 2013.
431 Ferreira e Andrade, 2004, p. 817.
432 Ibidem.
433 Ibidem.

de preços e quantidade eliminando uma importante parcela de incerteza do projeto.

No que se relaciona as especificações e características técnicas da engenharia do projeto "é necessário à definição de premissas de projeto, elaboração de projeto conceitual, básico, detalhamento, implantação e posta em marcha, com a participação de engenheiros de diferentes especialidades"[434] para auxílio ao longo de todas as decisões e escolhas criteriosas de metodologias. Neste ponto da análise de viabilidade são levantados os aspectos básicos a serem considerados quanto à engenharia e todos os demais aspectos técnicos.

> Todo projeto de engenharia mineral exige, em maior ou menor grau, uma quantidade de ensaios e pesquisas preliminares que determinam muitas das decisões adotadas no curso do estudo. Esses ensaios abrangem questões de natureza várias: provas de resistência do terreno para a construção civil; investigações metalúrgicas para o tratamento de minerais e caracterização tecnológica dos produtos, entre outras, de acordo com a natureza do projeto.[435]

Outro problema que precisa ser considerado neste trabalho de tomadas de decisão é o problema da localização de uma indústria, que pode ser considerado uma questão de maior ou menor complexidade de acordo com a natureza especifica do projeto e dos métodos de disposição de rejeito adotados por parte da mineradora, estando intimamente relacionado com os estudos de mercado, custos de produção e demais fatores.

Para Ferreira e Andrade "a localização ideal de uma indústria, logicamente, será a que permita maiores lucros para o investidor."[436], entretanto, de acordo com Verkerk et al[437] tal compreensão economicamente reducionista e distorcida acarretará em danos multiaspectuais ao empreendimento.

---

[434] Ferreira e Andrade, 2004, p. 819.
[435] Ferreira e Andrade, 2004, p. 820.
[436] Ferreira e Andrade, 2004, p. 821.
[437] Verkerk et al, 2018.

Apesar de não poder ser o único aspecto levado em consideração, a análise de custos e a avaliação econômica são fatores de extrema importância no processo de tomada de decisão, carregando a "função de indicar, por meio de técnicas específicas, os parâmetros de economicidade que permitam a decisão de se investir ou não em determinado projeto."[438] As técnicas de avaliação apresentadas são complementares, não havendo a possibilidade de elaboração de um modelo único capaz de atender às incontáveis questões estabelecidas para a tomada de decisões.

Não obstante tal complementariedade Rodrigues afirma que:

> Um grande problema da disposição de rejeitos, assim como em quase todas as atividades contemporâneas, é que muitas vezes, a tentativa de minimizar os gastos e maximizar o lucro faz com que as opções mais baratas sejam mais utilizadas.[439]

A adoção de tais metodologias de gestão e manejo do rejeito de minério deve ser submetida a uma criteriosa abordagem interdisciplinar e integrativa, evitando a absolutização de algum aspecto da realidade durante tal processo, neste caso, uma deformação do aspecto econômico.[440]

---

438 Ferreira e Andrade, 2004, p. 825.
439 Rodrigues, 2017, p. 9.
440 Verkerk et al., 2018.

4. Ferramentas Filosóficas para Projetos de Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração

Na prática diária da engenharia trabalha-se, na grande maioria dos empreendimentos, com modelos simplificados da realidade o que nos indica a necessidade de ferramentas de projeto que façam justiça ao caráter multi-aspectual e integral da realidade[441], visando restringir e conter a possibilidade de colapsos causados por um reducionismo nas fases de planejamento, execução, monitoramento e controle do projeto.

Adotando como ponto de partida de sua análise o contexto pratico do trabalho engenheiril, Maarten J. Verkerk, em conjunto com engenheiros especializados em diferentes áreas de atuação elaboraram o Modelo Triplo I (3IM) que será adotado no presente trabalho como ferramenta para o desenvolvimento de uma análise crítica dos processos de tomada de decisão, por parte de engenheiros, e um direcionamento para futuros projetos de gestão de disposição de rejeitos da mineração.[442]

Segundo Verkerk o Modelo Triplo I proporciona para os engenheiros "um vocabulário que lhes permite lidar e desvendar a complexidade dos sistemas tecnológicos modernos, propor métodos e técnicas para entender a natureza de uma inovação."[443]

Assim, como ilustrado na Figura 20, o presente modelo toma a prática do usuário como premissa inicial e analisa essa prática a partir de três diferentes perspectivas basilares: identidade ou valores intrínsecos da prática do usuário; inclusão dos interesses justificados das partes interessadas (*stakeholders*); e os ideais, sonhos e valores que moldam o projeto.[444]

---

441 Verkerk, 2014.
442 Perdigão, 2019.
443 Verkerk, 2014, p. 155, tradução nossa.
444 Verkerk, 2018.



Figura 20 – Representação gráfica do modelo Triplo I[445]

A primeira perspectiva apresentada por Verkerk[446] e que deve ser trabalhada é o 'I' de identidade e valores intrínsecos que se faz referência à natureza ou ao caráter da prática do usuário, ou seja, o contexto dentro do qual se dará a aplicação e utilização do projeto. Este aspecto é baseado, principalmente, nas ideias de valores internos como desenvolvidos por Alasdair MacIntyre e a ideia de função qualificadora da teoria de estruturas de individualidade de Herman Dooyeweerd.[447]

Alicerçado na TEI, a Função Qualificadora de um artefato tecnológico confere a identidade estrutural, que propicia o desdobramento de significado em todas as demais dimensões do artefato em um determinado contexto[448]. A partir dos aspectos modais da realidade, anteriormente apresentados, é necessário identificar e fazer referência ao aspecto que confere a direção

[445] Verkerk, 2018 p. 5.
[446] Verkerk, 2014.
[447] Verkerk et al., 2018.
[448] Ibidem.

específica para desenvolvimento sustentável de um artefato em seu contexto específico.

Como um antídoto visando combater às tendências reducionistas e à superespecialização dos engenheiros a TAM é utilizada visando prevenir o foco exclusivo no aspecto formativo e o favorecimento da ampliação do campo de visão dos engenheiros para todos os aspectos (relevantes) do empreendimento mineral. Essa teoria pode ser adotada, em particular, como um *checklist* a partir do qual questões podem ser levantadas e todos os aspectos podem ser abordados para desenvolver as especificações de um novo projeto.[449]

Sobre a importância da análise contextual de um empreendimento de engenharia Verkerk afirma que:

> Um artefato tecnológico é bem concebido quando ele está completamente adaptado e plenamente incorporado em um contexto especifico. A especificação do contexto obriga o engenheiro a não ver o artefato a ser concebido como uma coisa autônoma. Assim o contexto influencia grandemente o processo de concepção e o projeto final.[450]

A aplicação desta ideia no contexto prático da engenharia pode ser ilustrada a partir de uma análise comparativa entre projetos de gestão e disposição de rejeitos da mineração e projetos de geração de energia através de barragens hidrelétricas. Ambos projetos possuem igualdade em relação as funções sujeito e objeto e são fundamentadas no aspecto formativo como Função Fundacional. Entretanto a diferença contextual existente entre o processo de gestão de ambos os projetos pode ser facilmente percebida, determinando sua identidade. Um projeto de geração de energia através de barragens hidrelétricas é caracterizado pelo objetivo principal da geração de energia elétrica por meio da transformação de energias. Aqui encontra-se um contexto qualificado pelo controle e formação que determinam o modo como a barragem hidrelétrica deve funcionar, assim a mesma é qualificada pelo aspecto formativo. De maneira

[449] Verkerk, 2018.
[450] Verkerk et al., 2018, p. 120.

diferente, projetos de gestão e disposição de rejeitos apresentam como qualificação contextual o objetivo de salvaguardar o ambiente circunvizinho ao local de atividade mineraria, incluindo toda biodiversidade, comunidades e seres humanos. Tal projeto deve ser concebido de maneira que a sua estrutura, localização e todos os outros aspectos relevantes alcancem seu objetivo. Assim, torna-se perceptível o grau de influência exercido pelo contexto na determinação de especificações de projetos de gestão de rejeitos, considerando que a mesma é qualificada pelo cuidado, ou seja, pelo aspecto ético."[451]

> Esta qualificação produz diversos impactos na concepção e análise do projeto, servindo de guia para o desenvolvimento de barragens de rejeito de mineração – Caso o aspecto econômico tome o lugar do aspecto ético a concepção de projetos passa a ser elaborada tendo como abertura a maximização dos lucros, levando a opção por modelos mais baratos que podem prejudicar a segurança e estabilidade da mesma.[452]

A segunda perspectiva apresentada no Modelo Triplo I é o 'I' de inclusão dos interesses justificados das partes interessadas (*stakeholders*). Este aspecto é primeiramente fundamentado na teoria dos *stakeholders* como desenvolvido pelo filósofo Robert Edward Freeman[453] e o conceito dos interesses justificados se encontra presente na ideia de função qualificadora da TEI de Herman Dooyeweerd[454]. No modelo em questão é pressuposto que a identificação dos principais atores que participam, ou se mostrem interessados, em uma dada situação ou sistema, favorece a inserção destes interesses e assim alcançar uma solução adequada para o desafio em questão.[455] Desta forma, Verkerk et al[456] assume que as partes interessadas possuem interesses justificados que devem ser atendidos.

---

451 Perdigão, 2019.
452 Perdigão, 2019, p.i.
453 Freeman, 2010.
454 Dooyeweerd, 2016b.
455 Haftor, 2014.
456 Verkerk et al., 2018

> O 'I' de inclusão dos interesses justificados das partes interessadas (*stakeholders*) refere-se a uma abordagem dentro da qual esses interesses são identificados e incluídos no processo de projeto. Por exemplo, os *stakeholders* mais importantes da prática de usuário na barragem de rejeito são: o especialista em análise estrutural da barragem de rejeito, os projetistas da mineradora, as mineradoras que utilizam e vendem o minério, a população de cidades próximas à construção.[457]

De acordo com Freeman[458] os *stakeholders* são grupos ou indivíduos que podem produzir alguma influência ou serem afetados pelas ações, decisões, práticas ou objetivos da organização. Assim, o conceito de *stakeholder* permite que desenvolvamos uma nova maneira de compreender a gestão estratégica da organização.

> Para Pinto e Oliveira (2003) a teoria dos *stakeholders* exige ainda, a compreensão do tipo de influência por eles exercida e a reação das empresas frente às suas interferências. Donaldson e Preston (1995) afirmam que existem vários aspectos que envolvem os *stakeholders* e que podem ser usados de formas distintas pelas empresas e reconhecem três tipos de uso: descritivo, instrumental e normativo. O aspecto descritivo considera que os gestores podem identificar e classificar os papeis nos ambientes interno e externo. No aspecto instrumental é evidenciado quando o modelo é usado como ferramenta de gestão (*Stakeholder Management*). O aspecto normativo aparece quando a alta direção reconhece os interesses de todos *stakeholders*, alinha interesses comuns e os níveis de influência sobre a organização.[459]

Como vimos anteriormente, a prática de usuário na gestão e definição de especificações de projetos de rejeitos minerais é qualificada pelo aspecto ético. Desta forma, todos os *stakeholders* desta prática possuem interesses justificados e estes não podem ser contrários à identidade (função qualificadora) do empreendimento.

Segundo Perdigão os interesses dos *stakeholders* envolvidos em projetos de mineração podem ser claramente percebidos

---

457 Perdigão, 2019, p.i

458 Freeman, 2010.

459 Charotta, 2016, p. 1.

através de uma análise dos interesses individuais e compartilhados. O interesse do especialista e do técnico é possuir os melhores e mais adequados meios tecnológicos disponíveis para fazer as análises adequadas. "Os padrões para esse tipo de análise devem ser estabelecidos pela comunidade de especialistas em obras de terra."[460] Por parte dos projetistas, o interesse se revela na necessidade de liberdade de escolher materiais e desenvolver projetos que estejam de acordo com os estudos e análises de viabilidade previamente realizados visando salvaguardar o ambiente que a circunda. Em relação as mineradoras, como parte interessada no processo de gestão de rejeitos, o interesse ocorre na permissibilidade em "projetar o processo de produção para entregar um produto de alta qualidade e com um preço competitivo e manter a viabilidade de seu negócio."[461] Finalmente, o interesse por parte da população adjunta é a segurança contra rompimentos, o respeito à vida humana e "do meio ambiente que fornece o sustento da comunidade e a participação social na análise da viabilidade da construção da barragem."[462]

O teórico organizacional americano, Russell L. Ackoff[463], em seu livro *Creating the Corporate Future*, articulou a necessidade de inclusão das partes interessadas em dois termos: epistemológico e moral. A respeito desta divisão ele afirma:

> Epistemologicamente, as partes interessadas devem ser incluídas, pois têm conhecimento da situação abordada, uma vez que se assume que o conhecimento é necessário, mas não suficiente, para planejar um tratamento adequado de uma situação complexa. Moralmente, a inclusão das partes interessadas é uma necessidade nas sociedades democráticas e liberais contemporâneas para garantir a aprovação e o comprometimento daqueles que são afetados pelo planejamento.[464]

---

460 Perdigão, 2019, p.i.
461 Ibidem.
462 Ibidem.
463 Ackoff, 1981.
464 Haftor, 2014, p. 174, tradução nossa.

Deve-se evitar, portanto, a realização da etapa de planejamento do empreendimento, especialmente nos aspectos relacionados a assuntos delicados, excluindo as partes afetadas solicitando que planejem por si mesmos.

Em um bom projeto para gestão de rejeito de mineração, todos os interesses justificados dos diferentes *stakeholders* devem ser percebidos simultaneamente. "Isso é possível, em princípio, pois eles são complementares e não contraditórios."[465]

Por fim, a terceira perspectiva apresentada por Verkerk[466] é o 'I' de ideais, sonhos e valores, fundamentado principalmente na TMB conforme desenvolvida e apresentada por Dooyeweerd[467] em sua Filosofia da Ideia Cosmonômica. Este último aspecto do 3IM expressa as crenças básicas do que vem a ser uma boa vida ou um bom projeto, moldando a concepção e o desenvolvimento de empreendimentos tecnológicos. "Esses ideais, sonhos e valores estão intrinsecamente presentes em cada prática de usuário, se relacionando primeiramente aos valores fundamentais da própria prática."[468] A cultura ocidental, por exemplo, é moldada por valores cristãos, valores modernos e pós-modernos, os quais exercem graus de influência sobre o projeto de maneiras distintas.

Segundo Dooyeweerd[469], na cultura atual, a ideia de controle e domínio absoluto sobre a natureza é enfatizada fortemente pelo desenvolvimento científico e pelo avanço tecnológico, em paralelo com o ideal da liberdade. Após um estudo dos motivos base religiosos da atual cultura ocidental, conforme exposto pelo filósofo e engenheiro Egbert Schuurman[470], é possível perceber facilmente o fundamento do motivo natureza e liberdade em nossa cultura. Como polos dialéticos o motivo da liberdade enfatiza que "o acesso ilimitado à energia, bens e re-

[465] Perdigão, 2019, p.i.
[466] Verkerk, 2014.
[467] Dooyeweerd, 2015.
[468] Perdigão, 2019, p.i.
[469] Dooyeweerd, 2015.
[470] Schuurman, 2016b.

cursos tornam as pessoas livres para viverem suas vidas"[471], entretanto o "sonho de controle está presente. As pessoas querem controlar a natureza para que a energia esteja disponível a todo momento e em todos os lugares quando forem necessárias."[472]

De modo complementar, esse 'I' também se refere aos ideais, sonhos e valores que se originam nos interesses justificados dos diferentes *stakeholders* influenciando diretamente a concepção do projeto, ou seja, existem "diferentes fontes para ideais, sonhos e valores"[473] e todos eles influenciam as escolhas nos processos de desenvolvimento do projeto. Dentre estes pode-se citar a alta eficiência, o rápido retorno do investimento, a conciliação entre lucratividade e a sustentabilidade.

De acordo com o Quadro 2, adotando o contexto organizacional como ponto de partida, é necessário fazer referência explicita aos ideais, sonhos e valores apresentados pelos diferentes *stakeholders* e distinguir as diferentes fontes.

Quadro 2 – Ideais, Sonhos e Valores[474]

FONTES	**EXEMPLOS**
Individual	Autodesenvolvimento, Vida significativa, mudar o Mundo, Futuro Sustentável
Organização	Agregar valor à sociedade, servir ao cliente, inventar o futuro
Cultura	Pensamento Cristão: Servir a Deus, Igualdade, Liberdade, Livre Mercado, Solidariedade. Pensamento Pós-Moderno: Auto expressão, Autenticidade, projetar seu próprio futuro, desenvolvimento individual

Nota: as partes interessadas que estão fortemente envolvidas na prática do usuário também 'trarão' seus próprios ideais, sonhos e valores.

[471] Verkerk, 2014, p. 162.
[472] Ibidem.
[473] Verkerk, 2014, p. 163.
[474] Adaptado de Verkerk, 2014, p. 163.

Este modelo, além de possibilitar a análise de artefatos tecnológicos em si, como barragens de rejeitos e filtros, ela favorece a inclusão do conceito de tecnologia como conhecimento, atividade e vontade ou volição, assim como na concepção e tomadas de decisão visando a eficiência[475] e sustentabilidade[476] em projetos de gestão e manejo de rejeitos da mineração.

> Qual é o desafio da tecnologia, e como respondemos a ele, será fortemente condicionado pela forma como concebemos a tecnologia. A engenharia de segurança, por exemplo, projeta não somente produtos seguros, mas também processos ou atividades seguras.[477]

Adotando como fundamento intelectual a Filosofia da Ideia Cosmonômica de Herman Dooyeweerd, "a partir da qual diretrizes normativas foram derivadas para direcionar processos de concepção de projetos"[478], para a engenharia e a tecnologia, o principal objetivo de Verkerk[479] é o de fornecer aos engenheiros uma orientação que os capacitem a entender a complexidade de suas percepções e compreensões. Em tudo isso, a suposição metodológica central de Verkerk é que "a filosofia ofereceria teorias que poderiam lidar com 'a complexidade desses sistemas' e que também poderiam garantir (um certo grau de) completude".[480]

4.1 Reflexões Críticas Relacionadas ao Modelo Triplo I

No decorrer da exposição referente ao Modelo Triplo I pode-se perceber diversos benefícios para a elaboração de novos projetos, a adoção de metodologias referente a gestão e manejo de rejeito da mineração e análises da viabilidade dos projetos já existentes que emanam deste modelo teórico-filo-

---

475 Ellul, 1968.
476 De Britto, 2014.
477 Mitcham e Huerta, 2001, tradução nossa.
478 Perdigão, 2019, p.i.
479 Verkerk, 2014.
480 Haftor, 2014, p. 171.

sófico, dentre eles deve-se fazer menção à experimentação por parte dos engenheiros do desvendar, ainda que parcial, da complexidade dos projetos e da necessidade de tempo para reflexão.[481]

A partir da compreensão basilar de que a tecnologia não pode jamais ser determinada pela própria tecnologia, mas pela natureza da prática do usuário, os engenheiros experimentam a ideia dos múltiplos aspectos como um progresso no pensamento de projeto, a distinção entre interesses justificados e não justificados, além de um maior entendimento da influência dos ideais, sonhos e valores.

> Hoje em dia, os engenheiros trabalham em equipes multidisciplinares e precisam se comunicar com muitas partes interessadas. Eles geralmente perdem a visão geral e não entendem mais a 'complexidade' das funcionalidades do design integrado. Na prática, os engenheiros trabalham com modelos simplificados, resultando, na melhor das hipóteses, em soluções inadequadas e, na pior das hipóteses, em grandes desastres. Portanto, é de suma importância que sejam desenvolvidas ferramentas de design que façam justiça à intrincada relação entre homem, tecnologia e sociedade.[482]

No entanto, apesar de todos estes benefícios e qualidades, Darek Haftor, professor de Sistemas de Informação na Universidade de *Linnaeus*, na Suécia, defende que o Modelo Triplo I assumiu ambições ousadas.[483] Em seu artigo intitulado *Dealing With Complexity: Some Critical Reflections Upon Verkerk's 'Triple I Model'*, Haftor questiona a possibilidade de exercer domínio sobre a realidade humana, e se assim for, se este seria empreendimento desejável. "Claramente, a primeira questão é empírica, enquanto a segunda é normativa."[484]

Adotando como ponto de partida para o desenvolvimento de uma análise crítica e benéfica as diversas experiências de catástrofes naturais e desastres tecnológicos, como em casos de

[481] Perdigão, 2019.
[482] Verkerk, 2014, p. 155.
[483] Haftor, 2014.
[484] Haftor, 2014, p. 172.

rompimentos de barragens de rejeito, nota-se claramente a incapacidade do exercício completo de domínio sobre a realidade, ainda que se tenha mais tecnologia do que nunca para auxiliar nesta tarefa.[485] Assim também Dooyeweerd[486], ao desenvolver o conceito de motivos religiosos, demonstra que a aspiração de dominar e subjugar a realidade é um empreendimento impossível e derivado do motivo básico modernista de natureza e liberdade.[487]

> Mais especificamente, essa aspiração é baseada em uma antinomia secular não resolvida, mais visível nas tentativas heroicas, embora malsucedidas, de Kant, em sua terceira crítica, de ligar o abismo entre as razões teóricas e práticas. Por um lado, supõe-se que o nosso mundo é governado por leis naturais, com mecanismos determinísticos subjacentes, que dão origem a regularidades que o método científico pode descobrir e que nos permitem controlar a realidade (a primeira crítica de Kant). Por outro lado, pressupõe-se que o homem é livre para fazer o que quer, o que o torna um ser responsável, como na afirmação de que sem liberdade não há sentido em responsabilidade (a segunda crítica de Kant). No entanto, o que nem a terceira crítica de Kant, nem quaisquer outras tentativas, são capazes de responder é: como é possível um homem ser livre em um mundo totalmente determinista?[488]

A resposta oferecida por Dooyeweerd a este questionamento é que somente Deus possui o domínio e o controle absoluto sobre a realidade, o que torna supremo o motivo básico bíblico (criação-queda-redenção), onde a Lei de Deus governa toda a realidade. Nesse sentido, Haftor demonstra que as ousadas ambições "atribuídas ao 3IM não são possíveis nem compatíveis com seus fundamentos teóricos na filosofia Dooyeweerdiana."[489]

Assim, é sugere-se então um ajuste relacionado as aspirações do 3IM a partir de dois dos mais proeminentes pensadores

[485] Haftor, 2014.
[486] Dooyeweerd, 2015.
[487] Dooyeweerd, 2016a; 2016b.
[488] Haftor, 2014, p. 173.
[489] Ibidem.

de sistemas, C.W. Churchman e H.A. Simon. Segundo Haftor ambos os autores adotam posições meta-teóricas diferentes e discordam na maioria das questões, entretanto, apesar da existência de uma vasta divergência, ambos chegam à mesma posição em relação a busca de soluções, ou seja, que soluções ótimas não são possíveis. "Churchman desloca o ótimo ou abrangente com o processo de desdobramento contínuo e inclusivo, enquanto Simon vai de soluções ótimas a satisfatórias".[490] No campo de estudos da denominada ciência da complexidade é que "a complexidade não pode ser totalmente compreendida ou dominada, na melhor das hipóteses, o comportamento de um sistema complexo pode ser inteligível, não explicável."[491]

Outro importante autor que defende semelhante linha de pensamento crítico quanto à impossibilidade de exercer domínio pleno sobre a realidade humana é Sytse Strijbos, um acadêmico holandês, ex-professor de Filosofia da Tecnologia na *Vrije Universiteit* em Amsterdã e na *Potchefstroom University* na África do Sul, e presidente do Instituto Internacional de Desenvolvimento e Ética da IIDE.

> Em uma linha de raciocínio semelhante ao de Churchman e Simon, e também baseado no pensamento Dooyeweerdiano, como o 3IM de Verkerk, S. Strijbos sugeriu o processo de revelação como um meio de tornar inteligíveis nossas experiências, reconhecendo, no entanto, que nunca entenderemos completamente as complexidades, nem poderemos controlá-las. Nesse sentido, interpreto uma noção Dooyeweerdiana de revelação como sendo parte da realidade, em vez de seu mestre, interagindo com nossos contextos, aprendendo e respondendo às suas condições, em vez de conquistá-las; em uma linguagem modernista, ela pode ser comparada com a "aprendizagem experimental". A revelação dooyeweerdiana implica, como Strijbos expressa, que começamos incondicionalmente com uma posição normativa, não podemos escapar disso, e não podemos ser neutros. Essas normas assumidas nos guiam necessariamente em qualquer projeto que empreendermos: isso se aplica também a Verkerk. Portanto, é cruci-

[490] Ibidem.
[491] Ibidem.

> al ser criticamente auto-reflexivo sobre nossas próprias pressuposições.[492]

Esta denominada aprendizagem experimental de projetos por meio de uma interação com os contextos, de forma a aprender e responder às condições apresentadas, em vez de conquistá-las, encontra-se de total acordo com o pensamento sistêmico disseminado por Ludwig von Bertalanffy como um movimento interdisciplinar composto por um amplo e ousado programa científico, que busca superar uma visão de mundo mecanicista predominante e o reducionismo existente nas ciências, considerado uma das principais causas dos problemas do mundo moderno.[493]

Tais fundamentos teóricos-filosóficos podem fornecer grande contribuição no desenvolvimento do Modelo Triplo I como uma ferramenta filosófica de gestão e concepção de projetos de engenharia, incluso no setor minerário e na busca por melhores métodos de gestão de rejeitos.[494]

4.2 Ferramentas Gerenciais Auxiliares

Com o objetivo de aprimorar a análise desenvolvida a partir do Modelo Triplo I deve-se fazer uso de importantes modelos e conceitos aplicáveis à análise das metodologias de gestão e manejo dos rejeitos da mineração como o *Value Sensitive Design* (VSD), pioneiro na consideração proativa dos valores humanos na totalidade do processo de projeções tecnológicas[495] em conjunto com o Pensamento Sistêmico Multimodal elaborado por J. D. R. De Raadt e Veronica D. De Raadt "para abordar qualitativamente problemáticas relacionadas com a ideia de sustentabilidade de modo transdisciplinar"[496] de forma a garantir a sustentabilidade do empreendimento.

---

[492] Ibidem.
[493] Strijbos e Basden, 2006.
[494] Perdigão, 2019.
[495] Poel e Royakkers, 2011.
[496] De Britto, 2014, p. 5; De Raadt e De Raadt, 2014.

4.2.1 Design Sensível a Valor

O professor de Ética e Tecnologia e chefe do Departamento de Valores, Tecnologia e Inovação da Escola de Tecnologia, Política e Gestão da Universidade de Tecnologia de Delft, Ibo van de Poel, trabalha com o conceito de *Value Sensitive Design* (VSD), traduzindo Design Sensível a Valor[497]. Este é um empreendimento pioneiro na busca por considerar proativamente os valores humanos em todo o processo de desenvolvimento e implantação de novas tecnologias, como no setor de rejeitos minerais. Este trabalho é fundamentado pela crença de que os produtos com os quais nos envolvemos influenciam fortemente nossa experiência vivida e, por sua vez, nossas habilidades para satisfazer nossas aspirações.

> O *Value Sensitive Design* (VSD) foi desenvolvido no campo da tecnologia da informação e comunicação como uma abordagem sistemática para integrar valores de importância ética no design de novas tecnologias. A abordagem visa integrar investigações empíricas, conceituais e técnicas sobre os valores no design (Friedman et al. 2006). As investigações empíricas visam compreender as preocupações e experiências das partes interessadas que são afetadas por uma tecnologia; as investigações conceituais visam esclarecer os valores em questão conceitualmente e fazer *trade-offs*; as investigações técnicas são relevantes para incluir os valores no próprio desenho tecnológico, mas também para revelar quais valores já podem ser (tacitamente) incorporados no projeto de uma tecnologia. O objetivo geral do VSD é integrar valores desde o início no processo de design. Os valores que foram articulados na literatura de CIV incluem: bem-estar humano, propriedade, privacidade, liberdade de viés, usabilidade universal, confiança, autonomia, consentimento informado, responsabilidade, cortesia, identidade, tranquilidade e sustentabilidade ambiental.[498]

No caso de trabalhos voltados para melhoria e avaliação dos principais métodos utilizados na gestão e manejo dos rejeitos da mineração pode-se citar o conceito de segurança como um ideal a ser perseguido na concepção do projeto. Mitcham e Hu-

[497] Poel e Lambèr, 2011
[498] Poel, 2016, p. 13, tradução nossa.

erta apresentam a ideia de segurança como um conceito ético ou uma categoria moral que possui grande semelhança com a tradicional virtude aristotélica, "isto é, como um meio entre dois extremos. Para Aristóteles o que faz da coragem uma virtude é precisamente seu caráter de intermediário entre a covardia e a temeridade".[499]

Quanto a presença e aplicação do conceito ético nos próprios artefatos ou metodologias Mitcham afirmando que

> a segurança não é somente uma virtude para ser cultivada pelo usuário da tecnologia, mas para realizá-la no objeto tecnológico a ser utilizado. A categoria ética não se aplica somente aos seres humanos, mas também, em certo sentido, aos próprios artefatos. Os objetos tecnológicos não são puramente neutros ou para o fim de ganhar dinheiro, eles são bons ou maus, seguros ou inseguros, amigáveis ou não para o usuário, eficientes ou ineficientes, contaminantes ou não.[500]

4.2.2 Pensamento Sistêmico Multimodal[501]

Ao considerar o caráter multiaspectual da sustentabilidade abrem-se inúmeras vias para diálogos que visam proporcionar respostas consistentes a respeito dos modelos teóricos que contemplem de modo interdisciplinar os diversos aspectos relacionados na busca por um desenvolvimento sustentável, suas relações e as melhores maneiras de identificar e tratar tais aspectos na realidade empírica, em problemas de engenharia.

> O Pensamento Sistêmico Multimodal (PSMM), desenvolvido pelo casal de pesquisadores Donald e Veronica De Raadt – dora-

[499] Mitcham e Huerta, 2011, p. 38.

[500] Ibidem.

[501] Nota do Autor (2026): À época da elaboração deste trabalho, meu contato com o Pensamento Sistêmico Multimodal ainda era limitado a poucas obras do Prof. J. Donald R. De Raadt. Posteriormente tive a oportunidade de aprofundar meus estudos sob sua orientação no *Melbourne Centre for Community Development*. Desde então, diversos aspectos metodológicos dessa abordagem foram desenvolvidos e refinados, especialmente no campo da pesquisa comunitária. Para uma apresentação mais recente da metodologia e de suas aplicações, ver De Raadt, 2023.

> vante chamados apenas De Raadt – reunindo conhecimentos da filosofia, teologia, cibernética, administração, sociologia, tecnologia da informação, parece ser um ponto de partida viável para o desenvolvimento de respostas a esta complexa demanda.[502]

Deste modo pode-se perceber o importante papel que o PSMM proporciona para a gestão de futuros projetos de engenharia, e especificamente no setor minerário, por seu caráter inicial como uma proposta transdisciplinar de pesquisa.

No processo de elucubração deste conceito os De Raadt adotaram elementos advindos de diversos campos de conhecimento e pensadores distintos como a abordagem normativa da Ciência Sistêmica, elaborada por Ludwig Von Bertalanffy[503], a Teoria dos Sistemas Viáveis, apresentada por Stafford Beer[504] e pôr fim a TAM, do filósofo cristão holandês Herman Dooyeweerd[505].

Um dos principais conceitos distintivos e fundamentais do PSMM é a ideia de Vínculos Determinativos e Normativos. Conforme defendido por De Raadt[506], a ordem apresentada na matriz dos aspectos modais determina a maneira como ocorre as relações interaspectuais[507]. Deste modo, o vínculo existente entre uma "modalidade que antecede outra é chamada de nexo condicionante; já o nexo entre uma modalidade posterior e outra anterior é chamado nexo normativo."[508] [509] Assim, as denominadas modalidades anteriores são influenciadas pelas modalidades posteriores ao mesmo tempo que servem de fundamento para estas.

---

[502] De Britto, 2018, p. 46.
[503] Bertalanffy, 2014.
[504] De Raadt, 2015.
[505] Dooyeweerd, 2016a.
[506] De Raadt, 2000.
[507] De Britto, 2018.
[508] De Britto, 2018., p. 60.
[509] Na citação, "nexo" é empregado como sinônimo de "vínculo", e "condicionante" como sinônimo de "determinativo". Neste livro, adotam-se os termos "vínculo" e "determinativo", em conformidade com os capítulos seguintes.

Visando facilitar a compreensão destas inter-relações e sua aplicação na gestão e manejo de rejeitos da mineração tem-se como exemplo os recentes desastres com o rompimento da barragem da mina do córrego do Feijão em Brumadinho no estado de Minas Gerais. O rompimento desta barragem acarretou o vazamento de aproximadamente 12 milhões de metros cúbicos de rejeitos atingindo trechos do Rio Paraopeba à 7 km do local do rompimento e parte da comunidade da Vila Ferteco e da área administrativa da mina, ambas localizadas a cerca de 1 quilômetro à jusante da barragem (modalidade espacial), o que representa um grande desafio técnico na gestão de futuros projetos de aterros hidráulicos, pois torna-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias e metodologias (modalidade formativa) para viabilização da continuidade da exploração mineral e disposição de seus rejeitos (modalidade operacional). Neste caso, a localização das barragens (modalidade espacial) pode condicionar o êxito ou o fracasso da exploração. Entretanto há possibilidade do desenvolvimento de novas técnicas que exerçam influência nas metodologias de gestão e disposição de rejeitos da mineração. Para se alcançar tal objetivo é necessário visão (modalidade fiducial), conhecimento (modalidade epistêmica), altos investimentos (modalidade econômica), trabalho em conjunto (modalidade social) e cuidado ambiental (modalidade ética) como guia para as ações práticas (modalidade operacional). Deste modo pode-se afirmar que um rompimento de barragem localizada nas proximidades de rios ou municípios estabelece, por exemplo, um vínculo determinativo e de impacto negativo entre o rejeito vazado (modalidades: numérica, espacial, cinemática, física) e os sistemas fluviais e co-

munidades (modalidades: numérica, espacial, cinemática, física, regulatória, biótica, social, econômica e ética).[510]

Além de alterações na matriz multimodal, como a adição dos aspectos operacional, epistêmico, informacional, regulatório e distintivo[511], De Raadt[512] se posiciona de forma diferente de Dooyeweerd em relação à ordem determinativa e normativa das modalidades e seus vínculos. Como demonstrado anteriormente Dooyeweerd[513] defende que as modalidades são divididas em dos grupos, normativas e determinativas. Em contrapartida:

> Eu adotei uma visão ligeiramente diferente da definição dooyeweerdiana de ordem normativa. Eu considero como normativo o tipo de ordem que envolve diretamente a responsabilidade humana. Trata-se de um dever, que esboça para nós um padrão de virtude e da nobreza humana, além do curso e do destino para uma vida civilizada e culta. Em suma, é a visão da bondade em todo o seu esplendor. A ordem normativa, a meu ver, difunde-se por todas as modalidades - inclusive as quatro inferiores - com um grau de intensidade variável: mais forte no nível superior e

---

[510] Nota do Autor (2026): Este exemplo foi elaborado no TCC como ilustração e emprega as modalidades de modo mais próximo à Análise Multimodal de Dooyeweerd do que ao procedimento do PSMM. Há, por isso, diferenças em relação ao que desenvolvo no capítulo 6. Em primeiro lugar, "formativa" e "fiducial" são nomes da matriz de Dooyeweerd, e correspondem, no PSMM, à histórica e à visionária; "epistêmica" corresponde à epistemológica. Em segundo, o trabalho é qualificado, no PSMM, pela modalidade operacional, e não pela social. Em terceiro, o PSMM não atribui modalidades diretamente a eventos: ele qualifica fatores identificados em dados empíricos e examina, para cada relação, os vínculos normativos e determinativos em conjunto. Mantenho o exemplo como registro do texto original; o capítulo 6 mostra a aplicação do método a partir dos fatores.

[511] Nota do Autor (2026): Conforme a matriz do PSMM apresentada na seção 6.3, foram acrescentadas à matriz de Dooyeweerd três modalidades: operacional, epistemológica e regulativa. As modalidades aqui chamadas "informacional" e "distintiva" correspondem a modalidades reposicionadas (informativa e lógica). Ver seção 6.3.

[512] De Raadt, 2014.

[513] Dooyeweerd, 2016b.

> mais fraca nos níveis inferiores, de modo que as modalidades éticas e jurídicas são mais normativas do que a física e numérica.[514]

Assim, enquanto Dooyeweerd[515] defende uma matriz modal bifurcada entre aspectos normativos e determinativos, "para De Raadt a normatividade, é o específico dever intrínseco a ela"[516] permeando todas as modalidades. Tal abordagem De Radtiana presente no PSMM é de extrema importância para a questão socioambiental, como afirmado:

> Acho importante que reconheçamos nosso dever normativo também nas modalidades naturais, especialmente no que diz respeito ao meio ambiente. É importante porque, a partir de uma cosmovisão que considera a natureza acessível à toda exploração desenfreada, acabamos nos voltando para o extremo oposto que venera a natureza e considera a humanidade como uma maldição sobre ela.[517]

Efetivamente, a partir deste princípio fundamental do PSMM é possível evitar estas posições extremistas, pois tanto um fenômeno de ordem geológica e climatológica como o deslizamento ou escorregamento de terra, quanto uma mineradora de grande porte, podem ser geradoras de poluição e destruição. "Neste sentido, é preciso proteger a natureza da ação destruidora humana da mesma forma que nós nos protegemos de calamidades naturais."[518]

Fundamentado nesta percepção, De Raadt[519] (2000) propõe como um "pressuposto metodológico a noção de que para lidarmos com o mal que há no mundo precisamos reconhecer que os primeiros fatores a se tornarem negativos são os normativos, cujo efeito impactam, posteriormente, os fatores determinativos"[520].

---

514 De Raadt e De Raadt, 2014 apud De Britto, 2018, p. 60.
515 Dooyeweerd, 2016b.
516 De Britto, 2018, p. 61.
517 De Raadt e De Raadt, 2014 apud De Britto, 2018, p. 61.
518 De Britto, 2018, p. 61.
519 De Raadt, 2000.
520 De Britto, 2018, p. 83.

O trabalho de coleta e tratamento de dados é outro aspecto de extrema relevância para aplicação do PSMM em projetos de engenharia.

> A partir da amostra coletada é realizado o processo de itemização. Cada item é um extrato individual de um relato primário, secundário ou referencial; trata-se, portanto, de um pequeno segmento de texto que contém uma única ideia principal que apresenta relações entre fatores distintos ou não. […] Em seguida, os fatores que emergem em cada item escolhido são destacados compondo uma lista preliminar não exaustiva e flexível, que pode ser alterada várias vezes durante todo o processo de investigação, permitindo a inclusão, exclusão ou justaposição de fatores (DE RAADT, 2000, p.71) como parte de um processo cíclico de identificação e revisão de fatores presente durante todo o processo investigativo.[521]

Deste modo, De Britto[522] afirma que a determinação do grau de relevância dos fatores escolhidos ocorre com base nas indicações obtidas nos relatos referenciais, na importância concedida pelos agentes locais averiguados e nas observações apontadas do pesquisador ou pela equipe de investigação.

Como ilustrado na Figura 21, a organização destes fatores acentuados se dá a partir da matriz multimodal apresentada pelo PSMM, onde cada fator é relacionado com o aspecto que o qualifica, isto é, sua função qualificadora, alcançando uma compreensão a respeito do modo como ocorrem as "diversas inter-relações entre os fatores."[523] É necessário salientar, entretanto, a complexidade existente nos fenômenos aos quais os fatores dizem respeito, como o fator "Desenvolvimento Local" que apresenta propriedades que "podem ser relacionadas com diversas modalidades, ainda assim parece ser possível atribuir uma modalidade que melhor qualifica o fator levando em consideração o modo como ele se apresenta no contexto investigado."[524] Com base neste processo espera-se o surgimento de no-

[521] De Britto, 2018, p. 74.
[522] De Britto, 2018.
[523] De Britto, 2018, p. 80.
[524] Ibidem.

vas teorias e aplicações de caráter prático referentes aos fatores e aspectos modais.

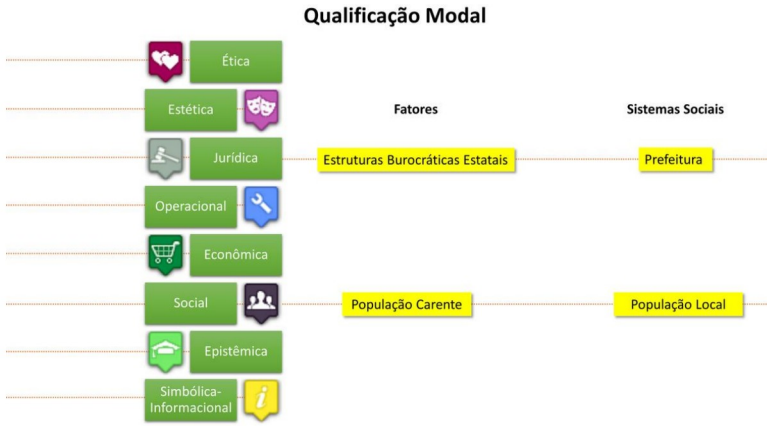


Figura 21 – Qualificação Modal de Fatores e Sistemas Sociais[525]

De Raadt[526] defende que após o trabalho de qualificação dos fatores torna-se necessária a compreensão da forma como estes se inter-relacionam. No que compete a estas relações De Britto afirma que:

> Segundo o filósofo americano John Kok (1998), pelo menos dois tipos de relação podem ser estabelecidos entre dois itens correlacionados. Há um determinado tipo de relação que é estabelecido entre um correlato A e um B, e outro entre um correlato B e um A. Por exemplo, a partir do vínculo existente entre um 'pai' e um

[525] SocioAtlas, 2018. Nota do Autor (2026): O SocioAtlas era, à época desta pesquisa, uma ferramenta em desenvolvimento e representava a direção mais recente dos esforços para operacionalizar o Pensamento Sistêmico Multimodal. Posteriormente, a experiência acumulada em pesquisas de campo indicou que sua aplicação apresentava dificuldades metodológicas significativas. Em consequência, passou-se a utilizar novamente o SmCube, cuja estrutura se mostrou mais adequada para a investigação de comunidades reais e para a análise de seus vínculos intermodais.

[526] De Raadt, 2000.

> 'filho' é possível distinguir dois tipos de relação, uma focalizando o 'filho' com relação ao 'pai', outra focalizando o 'pai' com relação ao 'filho' (KOK, 1998, p. 218). Deste modo, um mesmo nexo entre fatores envolve relações distintas, que são percebidas a partir do foco da relação. [...] Ambas as relações precisam ser analisadas.[527]

Estas inter-relações, denominadas de vínculos no PSMM, possibilitam a identificação das repercussões negativas ou positivas, "afetando, assim, de algum modo e em alguma medida todo o sistema socioambiental que constitui a conjuntura investigada."[528] A caracterização destas inter-relações entre fatores denominadas como positiva ou negativa, enquadra-se com a resolução do CONAMA no que se refere a identificação dos impactos ambientais:

> A análise dos impactos ambientais do projeto e suas alternativas, através de identificação, previsão de magnitude e interpretação da importância dos prováveis impactos relevantes, discriminando: os impactos positivos e negativos (benéficos e adversos), diretos e indiretos, imediatos e a médios e longos prazos, temporários e permanentes; seu grau de reversibilidade; suas propriedades cumulativas e sinérgicas; a distribuição dos ônus e benefícios sociais.[529]

Com base na ordem modal exposta, "os fatores são considerados de maneira que os mais normativos precedam sempre os mais condicionantes"[530] [531], facilitando a compreensão dos modos de relacionamento entre os fatores, "podendo exercer, assim, uma restrição – quando mais condicionantes – ou uma inspiração – quando mais normativos."[532] [533] Torna-se relevante destacar que uma restrição não representa necessariamente um

---

527 De Britto, 2018, p. 81.
528 Ibidem.
529 Resolução CONAMA 001/86, art. 6º, inciso II.
530 De Raadt, 2000 apud De Britto, 2018, p. 82.
531 Ver Nota 509.
532 De Britto, 2018, p. 82.
533 Ver Nota 509.

caráter ruim, podendo existir restrições benéficas assim como inspirações danosas.

Um exemplo relacionado ao processo de alteamento de barragens pode servir de auxílio na compreensão destas inter-relações. Segundo Filho[534], características do solo como sua umidade, índices de vazios, baixa resistência ao cisalhamento, peso específico real dos grãos, peso específico aparente seco e susceptibilidade ao fenômeno de liquefação podem ser considerados fatores determinativos do fracasso ou o êxito de um tipo específico de alteamento; entretanto é todavia, é possível influenciar algumas destas determinações físicas por meio de metodologias e técnicas de investigação de laboratório e de campo aumentando a "confiabilidade nos parâmetros de resistência, deformabilidade e condutividade hidráulica dos rejeitos de mineração"[535]. De Britto afirma que para isso ser possível, é necessário visão (aspecto fiducial), conhecimento (aspecto epistêmico), trabalho (aspecto operacional), isto é, fatores de caráter mais normativo que podem "influenciar as condições do solo (sistema complexo que abrange as modalidades distintiva, quantitativa, espacial, cinemática, física, regulatória, biótica, de caráter mais condicionante)."[536] [537]

> Podemos enfrentar crises determinativas ou normativas, no primeiro caso um desastre natural como uma erupção vulcânica pode desencadear uma crise de grandes proporções para os habitantes de uma localidade, por outro lado decisões mal tomadas podem gerar uma crise econômica criando diversos tipos de problemas socais, isso sem nos esquecermos de que a ação irresponsável de uma indústria pautada apenas pela obtenção de lucros a curto prazo pode gerar problemas como desmatamento que podem desembocar em desastres naturais.[538]

---

534 Filho, 2004.
535 Filho, 2004, p. 2.
536 De Britto, 2018, p. 82.
537 Ver Nota 509.
538 De Britto, 2018, p. 83.

4.3 Aplicação em Projetos de Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração

A aplicação destes modelos no processo de análise e escolha das metodologias de gestão e manejo de rejeitos da mineração apresenta um amplo caráter normativo e permite uma compreensão interdisciplinar durante a concepção e execução do empreendimento.

De acordo com Verkerk, Polinder e Ribeiro a aplicação do Modelo Triplo I pode ser sumarizada conforme apresentado na Figura 22. Para cada tecnologia de gestão torna-se necessária uma análise extensiva dos três "I's". Por um lado, as análises necessárias são consideradas uma tarefa de difícil realização devido a irresolução momentânea de diversas questões e a necessidade de pesquisas adicionais. No entanto, as possíveis falhas decorrentes da negligência quanto estas pesquisas e análises pode produzir falhas de alto impacto financeiro, que não podem ser permitidas por nenhuma organização ou instituição.[539]

[539] Verkerk, Polinder e Ribeiro, 2014.

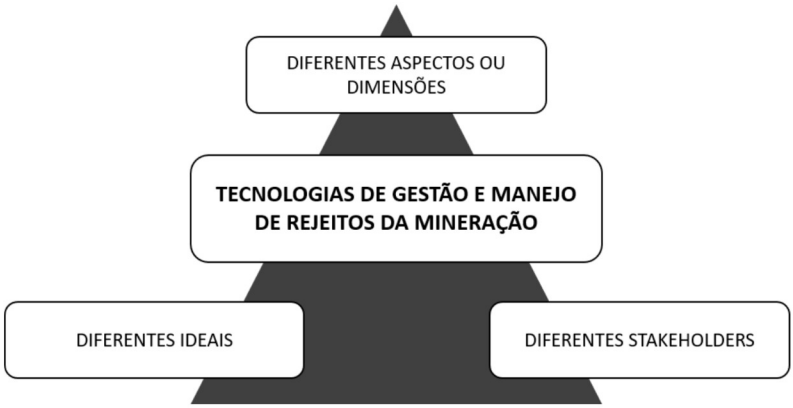


Figura 22 – Visão Geral da aplicação do Modelo Triplo I na Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração[540]

O 3IM pode ser aplicado de duas maneiras diferentes e complementares nos empreendimentos que envolvem tecnologias de gestão e manejo de rejeitos da mineração. Em primeiro lugar, tal modelo pode ser aplicado de forma descritiva para analisar uma prática existente, ou em segundo lugar, ele pode ser adotado de maneira prescritiva com o objetivo de orientar o desenvolvimento de um projeto em fase de elaboração.[541]

Assim, este modelo oferece três perspectivas ou, conforme De Vries e Jochemsen, três pares de óculos, para definir o status futuro. É necessário enfatizar que os três "I's" não podem ser tomados separadamente, mas formam uma parte integral de uma prática específica. Empregado no setor minerário deve-se também observar que o modelo Triplo I não oferece ferramentas para avaliações quantitativas de riscos ou controle de processos.[542]

---

[540] Verkerk, Polinder e Ribeiro, 2014, p. 116.
[541] De Vries e Jochemsen, 2019.
[542] Ibidem.

O Quadro 3 permite a exemplificação das diversas aplicações e definições relacionadas à atividade mineraria e especificamente aos trabalhos de gestão de rejeitos, identificando as Funções Fundacional, Qualificadora e Operacional junto com os interesses justificados, dos *stakeholders*.

Quadro 3 – Aspectos Modais e o Impacto na Gestão e Manejo de Rejeitos da Mineração

ASPECTOS	RELAÇÃO COM A GESTÃO E MANEJO DE REJEITOS DA MINERAÇÃO	PARTES INTERESSADAS
Numérico	Dimensões das estruturas, dimensões dos filtros, quantidade de material necessário. Requisitos técnicos (Projetos / lista de material / escopo definido/ planilha de quantitativo).	Especialista/ Técnico
Espacial	Espaço ocupado, posicionamento das esteiras e filtros.	Projetista/ Mineradora
Cinemático	O transporte de rejeito e água, contenção do material residual. **Função Operacional (podendo variar de acordo com especificações do projeto)**	
Físico	Das condições físicas do solo, da estrutura e do material a ser lavrado. Dos aspectos físicos e geotécnicos das estruturas construídas para gestão do rejeito. **Função Operacional (podendo variar de acordo com especificações do projeto).**	
Biótico	Poluição, impactos ambientais do projeto, sustentabilidade.	Projetista/ Mineradora/ População/ Estado
Psíquico	O nível de estresse que a obra causará nas proximidades, nível de dificul-	Mineradora

	dade do empreendimento.	
Analítico	Distinção que deve ser feita entre as possíveis metodologias, materiais utilizados, que é o fundamento da análise e planejamento. Requisitos da Qualidade (Características de difícil mensurabilidade ou de difícil execução) e Caminhos críticos (Etapas de "gargalo" do desenvolvimento).	Especialista/ Técnico/ Projetista/ Mineradora
Formativo	Aplicação de nova tecnologia e os impactos que a mesma causará no âmbito social, produtividade e na formação cultural. Tomar decisões que levam em conta o contexto, os usuários e a configuração em que a tecnologia será usada. **Função Fundacional.**	Colaboradores/ Mineradora/ População/ Especialista/ Técnico/ Projetista
Lingual	Informação disponível, e sua qualidade; discussão sobre as questões; leitura e interpretação das solicitações, compreensão e comunicação aberta.	Colaboradores/ Mineradora/ População
Social	Equipe necessária para execução do empreendimento, população vizinha ao empreendimento, necessidade de *feedback*.	Colaboradores/ Mineradora/ População
Econômico	Finanças, contabilidade, limitações aos recursos ambientais; número limitado de indivíduos, da administração e do uso racional dos recursos. Custos (Logística / infraestrutura da região/ mão de obra/ fornecimento de materiais/requisitos específicos).	Mineradora
Estético	Harmonizar o desenvolvimento com o ambiente circunvizinho como apresentado no conceito de Beleza Cênica[543], metodologia adotada de forma que a tecnologia se adapte as necessidades do cliente.	Mineradora/ População

[543] Vieira, 2014

Jurídico	Leis, normas e politicas centradas e fundadas em nossa responsabilidade aplicáveis ao empreendimento, elaboração do contrato. Requisitos da Segurança (SSMA).	Estado/ Colaboradores/ Mineradora
Ético	Clareza e transparência nas documentações e transações, responsabilidades éticas dos técnicos, engenheiros e gerentes por produtos seguros e confiáveis, práticas de design adequadas e o cuidado ao elaborar o projeto, visando adequada disposição do rejeito. **Função Qualificadora.**	Especialista/ Técnico/ Projetista/ Colaboradores/ Mineradora/ População/ Estado
Fiducial/ Pístico	Os clientes devem ser capazes de ter confiança de que as estruturas e serviços oferecidos são projetados adequadamente para seu uso pretendido e que eles podem ser usados com segurança.	Mineradora/ População/ Estado

O desenvolvimento de um sistema de gestão e manejo de rejeitos minerais que opere de modo favorecer uma sustentabilidade multiaspectual requer inovação em quatro áreas básicas; em segurança estrutural, reaproveitamento de água e utilização de espaço, além do desenvolvimento de modelos que auxiliemna compreensão dos aspectos não-tecnológicos e a maneira como estes devem ser integrados na concepção e escolha de metodologias viáveis.

Dentre as metodologias que visam a segurança estrutural do empreendimento o método de aterro hidráulico com alteamento a montante torna-se a opção mais vulnerável expondo ao risco todo o ambiente a localizado nas proximidades da barragem, entretanto o baixo custo empregado neste tipo de alteamento torna-se um atrativo para as mineradoras que desconsideram a identidade, os valores intrínsecos e os interesses justificados presentes.[544] Deste modo, dentre os métodos de aterro hidráulico apresentados, o alteamento por linha de centro apre-

[544] Rodrigues, 2017.

senta "ser uma boa alternativa para mineradoras que presam pela segurança e não tem condições de fazer uma estrutura de custo mais elevado como as barragens de alteamento a jusante."[545]

Os métodos de disposição em cava a céu aberto ou em cava subterrânea apresentam características positivas, e em casos específicos pode ser oferecido como uma solução alternativa ao uso de aterro hidráulicos. Tal metodologia auxilia no trabalho de recuperação das áreas degradadas proporcionando melhores condições de promoção da sustentabilidade, e permite a disposição do rejeito visando restaurar a topografia local (aspecto biótico e aspecto estético).[546] A disposição compartilhada de rejeito e estéril também pode ser tomada como aspecto benéfico desta metodologia, "reduzindo ainda mais a necessidade de locais para alocar esses resíduos."[547] Apesar dos pontos positivos mencionados deve-se atentar para "a questão da estabilidade e da toxicidade desses materiais, devendo-se fazer estudos químicos e geotécnicos antes de optar por essas alternativas."[548]

As alternativas de rejeito espessado ou filtrado se apresentam como alternativas recentes para o problema da gestão e manejo dos rejeitos produzidos pela atividade mineraria, segundo Rodrigues tais metodologias podem ser consideradas as mais adequadas e favoráveis para mineradoras que visem o reaproveitamento da água utilizada nos processos de extração e beneficiamento do minério, diminuir os problemas decorrentes da estabilidade dos rejeitos e reduzir o espaço utilizado com "infraestruturas necessárias para contenção tanto de água como de rejeito."[549]

> Por serem métodos com maior demanda tecnológica, algumas de suas desvantagens como, custos com infraestrutura e transporte

[545] Rodrigues, 2017, p. 25.
[546] Verkerk et al., 2018.
[547] Rodrigues, 2017, p. 25.
[548] Ibidem.
[549] Ibidem.

> de rejeitos, podem ser mitigados com o avanço do tempo e da tecnologia, dando a essas alternativas um futuro potencialmente promissor em relação às outras em qualquer situação.[550]

O desenvolvimento de novas metodologias e as mudanças no cenário da gestão de rejeitos promoverá mudanças significativas no setor de extração mineral. No entanto, apesar de todo progresso e de todo *know-how* existente, permanece impossível responder com exatidão sobre como serão concebidos os futuros projetos.[551]

De acordo com Verkerk, Polinder e Ribeiro[552] a resposta mais provável e adequada a este tipo de questionamento é que o desenvolvimento futuro das tecnologias industriais em geral, e especificamente dos projetos de gestão de rejeitos, não ocorrerão de uma única vez, mas evoluirão ao longo dos anos a partir das técnicas atuais e do desenvolvimento e implementação de novos métodos, além de decisões e ações políticas.

A complexidade do desenvolvimento e implementações de novos métodos de gestão de rejeitos da mineração exige um modelo adequado que permita sua compreensão e o entendimento de seus aspectos normativos. Com esta finalidade percebe-se a necessidade de uma combinação de ferramentas filosóficas para integrar considerações técnicas, éticas e sistêmicas: o 3IM, o VSD e o PSMM. O 3IM destaca aspectos não-tecnológicos, os interesses justificados de vários *stakeholders* e os ideais ou valores que sustentam o desenvolvimento e implementação das novas técnicas.[553] O VSD, utilizado como ferramenta auxiliar, traz a tona a necessidade do desenvolvimento de pesquisas que considerem as implicações derivadas de posições morais e os valores presentes em todo desenvolvimento tecnológico. Por fim o PSMM que, semelhante ao 3IM, adota a Filosofia da Ideia Cosmonômica como ponto de partida, porém com adaptações no modelo apresentado originalmente partindo

---

[550] Ibidem.
[551] Verkerk, Polinder e Ribeiro, 2014.
[552] Ibidem.
[553] Ibidem.

de conhecimentos da Cibernética e da Teoria Geral dos Sistemas com o objetivo de apresentar uma abordagem qualitativa de contextos complexos associados a ideia de sustentabilidade.

As inovações no campo da gestão de rejeitos minerais são impulsionadas por ideias sobre um futuro sustentável. Novas tecnologias estão sendo definidas e padrões acordados. Tais inovação que serão moldadas pelos esforços de múltiplos atores, como engenheiros, mineradoras, empresas de tecnologia, governos e consumidores.[554]

Tais observações mostram que o modelo Triplo I, e as ferramentas filosóficas e gerenciais auxiliares, não apenas oferece uma heurística capaz de analisar todos os aspectos que se mostrem relevantes ao longo de todas as etapas do projeto, integrar o conhecimento de diferentes disciplinas e fazer justiça aos interesses justificados das partes interessadas, mas também oferece uma ferramenta para trazer ideais e crenças básicas para discussão amparando a tomada de decisão e as mudanças necessárias.[555]

[554] Ibidem.
[555] De Vries e Jochemsen, 2019.

5. Considerações Finais

O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise das principais metodologias utilizadas na gestão e manejo de rejeitos advindos da atividade minerária a partir de ferramentas téorico-filosoficas que propõem uma compreensão não reducionista da realidade, possibilitando abordagens interdisciplinares e integrativas, que minimizam as possibilidades de absolutizações relacionadas a aspectos específicos da realidade.

Para se atingir uma compreensão dessa realidade, definiu-se três objetivos específicos. O primeiro objetivo, de expor os conceitos básicos da Filosofia da Tecnologia em sua aplicação no trabalho de engenharia, bem como as implicações destes conceitos para a gestão e manejo de rejeitos da mineração e o desenvolvimento de questões de responsabilidade e ética na profissão do engenheiro civil, demandou um trabalho de revisão de literatura, compreendendo aspectos gerais sobre a história, conceitos e pensadores da Filosofia da Tecnologia, além de pesquisa das principais metodologias de gestão de rejeitos da mineração e ferramentas filosóficas que auxiliarão no processo de escolha criteriosa das respectivas metodologias.

Após apresentação dos fundamentos teóricos da escola holandesa de filosofia da tecnologia que conduziram todo o processo de exposição das ferramentas de gestão, recorreu-se à pesquisa bibliográfica dos estudos de sistemas estruturais e geotécnicos das principais práticas de gestão residual adotadas pelas mineradoras, juntamente com seus efeitos benéficos, seus malefícios e os devidos métodos construtivos. Este procedimento atendia ao segundo objetivo específico: Apresentar a partir dos estudos de sistemas estruturais e geotécnicos as principais práticas de gestão e manejo de rejeitos de mineração com a finalidade de diminuir os riscos e os potenciais danos econômicos, sociais e ambientais associados à sua adequada disposição.

Por fim, visando atingir as metas propostas pelo terceiro objetivo, a investigação detalhada do 3IM como uma importante

ferramenta conceitual para gestão de projetos de engenharia, análise crítica dos riscos e das principais metodologias de gestão e manejo dos rejeitos da mineração possibilitou um aprofundamento no papel de conceitualização e valorização da busca por garantir a sustentabilidade do empreendimento à partir de uma visão não-reducionista do referido empreendimento.

Em suma, os dados qualitativos e descritivos apresentados possibilitou a apresentação de um novo caminho para a tomada de decisão com base em critérios que considerem o caráter complexo e integral da realidade, demonstrando a existência de um posicionamento crítico interdisciplinar em relação ao gerenciamento do rejeito mineral para, desta forma, eliminar ou minimizar os riscos relacionados a tais empreendimentos.

Em pesquisas futuras, pretende-se propor a aplicação empírica das ferramentas apresentadas, juntamente com o uso do método de PSMM em coleta e tratamento inicial de dados relacionados aos impactos socioambientais ocasionados no processo de disposição de rejeitos da mineração, através de uso do SmCube, um software de apoio à pesquisa qualitativa desenvolvido especificamente para o tratamento de dados com fundamentação no PSMM, possibilitando a aplicação rigorosa das regras definidas neste método.

6. Além dos Rejeitos: Reflexões Sete Anos Depois

> A pergunta decisiva não é apenas qual tecnologia utilizar, mas que tipo de relação desejamos construir entre a atividade econômica e as comunidades que sustentam a vida social.
>
> *Nota à Edição Impressa*

Sete anos se passaram desde a conclusão da pesquisa que deu origem a este livro. Durante esse período, muitas das questões discutidas naquele trabalho permaneceram presentes em meus estudos. Algumas conclusões foram confirmadas; outras se mostraram insuficientes. O objetivo deste capítulo é reexaminar criticamente as conclusões apresentadas em 2019 e expor, de maneira mais sistemática, as razões que me levaram a revisá-las. Contudo, a proposta vai além de uma simples reconsideração teórica. Busca-se também apresentar uma análise dos desastres de Mariana e Brumadinho, a partir do exame de documentos, relatórios e registros produzidos sobre esses desastres, identificando fatores que contribuíram para sua ocorrência e seus impactos sobre as comunidades locais.

A partir dessa análise, o capítulo introduz os elementos iniciais de uma proposta de mineração comunitária, concebida como uma alternativa capaz de reorientar a atividade minerária em direção ao fortalecimento da vida comunitária. A hipótese explorada é que modelos de governança mais enraizados na comunidade não apenas reduzem as condições que tornam possíveis desastres de grande magnitude, como os ocorridos em Mariana e Brumadinho, mas também promovem formas mais sustentáveis de desenvolvimento econômico, social e ambiental nos territórios afetados pela mineração.

As páginas que seguem não devem ser lidas como uma rejeição do trabalho original, mas como uma tentativa de levá-lo às suas consequências lógicas. Se a crítica ao reducionismo apresentada naquela pesquisa estava correta, então ela precisava ser aplicada também às próprias conclusões que dela foram extraídas. Antes

de examinar aquilo que considero insuficiente ou equivocado em minhas formulações originais, parece-me necessário começar por aquilo que continua merecendo ser preservado.

6.1 O que Permanece Válido

A crítica central deste trabalho — de que problemas complexos não podem ser adequadamente enfrentados por abordagens reducionistas, que isolam um único aspecto da realidade e tratam os demais como secundários ou irrelevantes — permanece, a meu ver, inteiramente válida. A superespecialização do engenheiro, apontada por Riessen[556] e Vanderburg[557] como incapacidade de "ver" as consequências de suas decisões para além do próprio domínio técnico, continua sendo um obstáculo real ao exercício responsável da profissão. Da mesma forma, permanece válida a denúncia, apoiada em Dooyeweerd[558] e em Haftor[559], de que a aspiração de exercer domínio pleno sobre a realidade — seja sobre a natureza, seja sobre uma comunidade humana — é um empreendimento impossível, fundado num motivo básico moderno que a própria história dos desastres minerários desmente a cada rompimento de barragem.

Permanece igualmente válida o uso da teoria das modalidades, formulada por Herman Dooyeweerd e posteriormente incorporada ao Pensamento Sistêmico Multimodal. Esse instrumental teórico parte da ideia de que a realidade se organiza em modalidades distintas e irredutíveis — física, biótica, econômica, social, jurídica, ética, entre outras. Também sustenta que um projeto de engenharia saudável deve reconhecer a normatividade própria de cada uma delas, em vez de subordiná-las ao cálculo técnico-econômico. Se este livro tem algum valor duradouro, é porque esse diagnóstico — o de que a mineração, como qualquer grande empreendimento tecnológico, não pode ser avaliada apenas pelos seus indicadores técnicos ou finan-

[556] Riessen, 2018.
[557] Vanderburg, 2011.
[558] Dooyeweerd, 2015.
[559] Haftor, 2014.

ceiros — continua correto. O que mudou não foi esse diagnóstico, mas a resposta que dele extraí.

6.2 Os Limites da Resposta Original

Quando escrevi este trabalho, minha atenção — como registrei na Nota à Edição Impressa — estava concentrada nas metodologias de gestão e manejo de rejeitos da mineração. Acreditava que a combinação de instrumentos teóricos como o Modelo Triplo I e o Design Sensível a Valor, com conceitos do Pensamento Sistêmico Multimodal, com os quais eu tinha apenas um contato inicial, poderia contribuir para a construção de processos decisórios mais responsáveis e menos reducionistas. Nas Considerações Finais, cheguei a afirmar que tais ferramentas poderiam oferecer "um novo caminho para a tomada de decisão", capaz de "eliminar ou minimizar os riscos relacionados a tais empreendimentos".

Essa conclusão não estava inteiramente equivocada. Métodos mais abrangentes de análise tendem, de fato, a produzir decisões melhores do que aquelas baseadas exclusivamente em critérios técnicos ou econômicos. O problema é que tanto a pergunta que orientava a investigação quanto as ferramentas teóricas utilizadas conduziam a análise para o interior do próprio empreendimento minerário. A questão central tornava-se como decidir melhor, como gerir melhor ou como reduzir melhor os riscos. Permanecia praticamente ausente, porém, uma pergunta anterior e mais fundamental: quem possui legitimidade para decidir se determinado empreendimento deve existir e em quais condições ele pode ser considerado aceitável pelas comunidades que serão afetadas por sua presença?

Essa pergunta praticamente não aparece ao longo do texto original. Embora a pesquisa reconheça a existência de fatores sociais, ambientais, jurídicos e éticos, eles são analisados principalmente como variáveis que deveriam ser incorporadas ao processo decisório dos gestores, das empresas ou dos órgãos responsáveis pelo licenciamento. A comunidade afetada apare-

ce como um elemento relevante da análise (um *stakeholder*), mas raramente como sujeito efetivo das decisões.

Um leitor atento perceberá que, em nenhum momento do texto original, pergunto se a comunidade afetada por uma mina deveria possuir poder de veto sobre sua instalação, ou em que circunstâncias a ausência de consentimento poderia tornar um empreendimento ilegítimo, independentemente de sua segurança técnica ou de seus benefícios econômicos.

Essa perspectiva começou a se mostrar insuficiente quando passei a estudar comunidades diretamente impactadas por grandes empreendimentos de infraestrutura e exploração econômica.[560] Nessas situações pude perceber que a sustentabilidade de uma comunidade não depende apenas da qualidade das decisões tomadas por governos, empresas ou especialistas. Ela depende também — e talvez principalmente — da existência de organizações locais capazes de permitir que os próprios moradores participem da definição de seu futuro coletivo.[561] Questões relacionadas à representação, ao consentimento, à deliberação e ao autogoverno passaram, então, a ocupar um lugar central em minha investigação.

Foi precisamente essa mudança de foco que me levou a reconhecer uma forma particularmente sutil de reducionismo.

[560] Essa mudança de perspectiva teve origem durante a pesquisa de doutorado desenvolvida no bairro Santa Terezinha, em Belo Horizonte (MG), quando se tornou evidente o processo pelo qual estruturas burocráticas passaram a assumir funções anteriormente desempenhadas pela própria comunidade. Posteriormente, essa reflexão consolidou-se e ganhou uma dimensão prática na pesquisa-ação em andamento no bairro Granja Vista Alegre, em Contagem (MG), inicialmente motivada pela mobilização comunitária diante dos impactos da expansão minerária e de grandes projetos de infraestrutura. A experiência evidenciou que o problema central não se limita à gestão técnica dos empreendimentos, mas envolve a capacidade das comunidades locais de participar das decisões que afetam seu território e seu modo de vida. Essas reflexões foram inicialmente desenvolvidas na palestra *Do Diagnóstico Sistêmico ao Autogoverno Local: A Municipalidade Participativa como Escola Primária da Liberdade* (Perdigão, 2026), apresentada na abertura do 21º Congresso Brasileiro de Sistemas.

[561] Putnam, 2006.

Embora a análise procurasse considerar múltiplas dimensões da realidade, ela permanecia confinada ao horizonte do próprio empreendimento. Questões de legitimidade e autonomia comunitária permaneciam subordinadas à busca por formas mais seguras, eficientes ou sustentáveis de conduzir a atividade minerária.

Chamo de solucionismo tecnológico essa crença de que problemas produzidos por uma determinada tecnologia podem ser resolvidos por tecnologias melhores, por sistemas de gestão mais sofisticados ou por versões mais abrangentes e eticamente informadas da própria tecnologia. Trata-se de uma forma de reducionismo particularmente difícil de identificar porque não se apresenta como uma defesa ingênua da técnica, mas frequentemente como uma proposta interdisciplinar, sensível a fatores sociais, ambientais e éticos.

Um sistema de disposição de rejeitos filtrados ou empilhados a seco é, sem dúvida, tecnicamente superior a uma barragem de alteamento a montante. Ele reduz significativamente o risco de rompimentos catastróficos e constitui hoje um requisito mínimo para qualquer processo de licenciamento responsável. Entretanto, essa superioridade técnica nada diz sobre a legitimidade do processo decisório, isto é, sobre se as comunidades afetadas foram efetivamente ouvidas e se possuem poder real para influenciar as decisões que afetarão seu futuro.

O erro do solucionismo tecnológico não consiste em atribuir importância à técnica. A técnica importa e continuará importando enquanto existirem barragens, minas, hidrelétricas e demais grandes empreendimentos de engenharia. O erro consiste em acreditar que a pergunta técnica esgota a pergunta ética, política e comunitária. Um empreendimento pode ser tecnicamente exemplar e, ainda assim, produzir relações de dependência, enfraquecer instituições locais, afetar o ecossistema em que está inserido, comprometer formas tradicionais de vida ou ser implementado sem participação efetiva daqueles que serão diretamente afetados por suas consequências.

O problema não está em perguntar como reduzir os riscos de uma barragem. O problema surge quando essa pergunta substitui uma reflexão mais fundamental sobre a relação entre grandes empreendimentos tecnológicos e as comunidades humanas que convivem com eles. Enquanto a primeira questão busca aperfeiçoar os meios, a segunda interroga os próprios fins da atividade econômica e tecnológica.

Foi precisamente nesse ponto que minhas conclusões começaram a se afastar daquelas originalmente apresentadas neste trabalho. A crítica ao reducionismo permaneceu. O que mudou foi a compreensão de que o problema não reside apenas nas respostas que oferecemos, mas também nas perguntas que escolhemos fazer.

6.2.1 Segurança Técnica e Legitimidade Social

A mudança de perspectiva descrita na seção anterior levou-me a distinguir com mais clareza duas questões que este trabalho tratava como se fossem uma só. A primeira é técnica: um determinado método de disposição de rejeitos é seguro segundo os padrões de engenharia disponíveis? A segunda é política e comunitária: o processo de escolha desse método e de autorização do empreendimento conferiu às comunidades afetadas poder real de participação e decisão?

Embora relacionadas, essas perguntas são logicamente independentes. Um empreendimento pode ser tecnicamente inseguro e socialmente ilegítimo. Pode também ser tecnicamente seguro e continuar socialmente ilegítimo. O fato de uma barragem atender aos mais rigorosos padrões de engenharia não significa, por si só, que aqueles que convivem com seus riscos participaram da decisão de construí-la ou aceitaram as transformações que ela impõe ao território.

Na seção 4.2.1 deste trabalho, autores como Mitcham e Huerta são utilizados para compreender a segurança como uma qualidade do próprio artefato tecnológico.[562] A preocupação central dessa abordagem consiste em aperfeiçoar o projeto da

[562] Mitcham e Huerta, 2011.

tecnologia, tornando-a mais segura e prudente. Essa contínua sendo uma contribuição importante para elaboração de projetos de engenharia. Ela se refere, porém, à qualidade técnica do empreendimento, e não às condições sociais e políticas sob as quais ele é concebido, autorizado, implantado e conduzido posterior a sua implantação.

Hoje acrescentaria que a própria definição de segurança não é tão neutra quanto eu supunha. Considerar um empreendimento seguro implica aceitar determinados níveis de risco, estabelecer critérios de tolerância, definir quais impactos são admissíveis e decidir quem deverá conviver com suas consequências.

Essas decisões raramente são apenas técnicas. Elas envolvem julgamentos sociais, econômicos, políticos e institucionais.

Na prática, tais critérios costumam ser definidos por estruturas burocráticas relativamente distantes das comunidades afetadas como empresas mineradoras, órgãos reguladores, consultorias especializadas, instituições financeiras e instâncias governamentais. Mesmo quando atuam de forma competente e bem-intencionada, essas organizações tendem a avaliar os riscos a partir de indicadores abstratos e agregados, enquanto as comunidades locais convivem com suas consequências de maneira concreta e cotidiana.

Por essa razão, a questão decisiva não é apenas saber se um empreendimento é seguro, mas também perguntar quem participa da definição do que será considerado seguro. Um grande empreendimento de engenharia pode satisfazer todos os parâmetros técnicos exigidos e ainda assim permanecer objeto de contestação legítima por parte das comunidades que compartilham seu território com ela. A legitimidade social não substitui a segurança técnica, mas submete suas definições ao escrutínio daqueles que assumirão os riscos decorrentes das decisões tomadas.

6.3 Do Diagnóstico Filosófico à Investigação das Comunidades

A limitação apontada na seção anterior estava relacionada não apenas ao foco da investigação, mas também aos fundamentos teóricos e conceituais utilizados para compreender o problema.

Ao elaborar esta pesquisa, encontrei na filosofia de Herman Dooyeweerd um poderoso instrumento para criticar o reducionismo presente em grande parte das abordagens tradicionais da engenharia e da gestão de rejeitos. Sua teoria das modalidades permitia demonstrar que a realidade não pode ser adequadamente compreendida quando reduzida a um ou dois fatores específicos.

Como indicado na seção anterior, porém, identificar reducionismos não era suficiente para compreender os problemas concretos enfrentados pelas comunidades afetadas por grandes empreendimentos. A teoria das modalidades permitia compreender, em termos ontológicos, a natureza de um empreendimento minerário – ou de uma barragem de rejeitos –, e reconhecer que ele envolve, simultaneamente, aspectos físicos, econômicos, sociais, jurídicos, ecológicos e éticos. Ela mostrava com relativa clareza quais aspectos da realidade estavam presentes e quais tendiam a ser negligenciados. Oferecia, contudo, menos recursos para reconstruir empiricamente como esses diferentes aspectos se articulam, ao longo do tempo, na experiência concreta de pessoas, famílias, organizações e comunidades.

Essa dificuldade está relacionada a uma limitação importante da própria abordagem dooyeweerdiana. Ao enfatizar uma análise ontológica da realidade, sua teoria busca compreender principalmente a estrutura das coisas, isto é, aquilo que elas são e os aspectos fundamentais que as constituem. Nesse sentido, as modalidades em Dooyeweerd descrevem aspectos fundamentais da realidade, oferecendo uma compreensão de sua estrutura, mas não necessariamente dos processos históricos pelos quais essas estruturas se desenvolvem e se transformam.

Comunidades humanas, no entanto, dificilmente podem ser compreendidas como estruturas estáticas. Elas são realidades dinâmicas, nas quais pessoas e grupos constroem relações, criam instituições, enfrentam conflitos, desenvolvem novos arranjos econômicos e respondem a mudanças históricas. Compreender esses processos exige não apenas uma teoria sobre a estrutura da realidade, mas também uma metodologia capaz de analisar como essas estruturas se manifestam, se transformam e interagem ao longo do tempo.

Essa diferença possui implicações importantes para a compreensão dos próprios problemas sociais. Quando instituições e comunidades são concebidas principalmente como entidades dotadas de uma estrutura relativamente estável, problemas como pobreza, poluição, violência ou dependência econômica tendem a ser interpretados como falhas localizadas, desvios ocasionais ou imperfeições que podem ser corrigidas sem modificar a organização fundamental do sistema. A perspectiva sistêmica proposta por Stafford Beer[563] conduz a uma interpretação distinta. Instituições deixam de ser compreendidas como estruturas estáticas e passam a ser vistas como sistemas dinâmicos, constituídos pelas relações continuamente estabelecidas entre seus membros e capazes de adaptar sua própria organização ao longo do tempo. Nessa perspectiva, os problemas que emergem de uma comunidade ou de uma organização não são compreendidos, em primeiro lugar, como acidentes ou "manchas" a serem removidas, mas como resultados recorrentes da forma como o próprio sistema está organizado. Se um sistema produz continuamente desigualdade, degradação ambiental ou perda de autonomia comunitária, tais fenômenos deixam de ser tratados como anomalias externas e passam a constituir evidências de que sua própria organização está desenhada para produzi-los — ou, ao menos, não é capaz de evitá-los. Em vez de acidentes ocasionais, tornam-se consequências recorrentes da forma específica de organização do sistema.

---

[563] Beer, 1979.

Foi precisamente para enfrentar essa limitação que J. Donald R. De Raadt[564] desenvolveu o Pensamento Sistêmico Multimodal (PSMM). Preservando a contribuição central de Dooyeweerd — a irredutibilidade das modalidades —, o PSMM procura superar as limitações de uma abordagem ontológica mediante a integração da teoria das modalidades com a Ciência de Sistemas de Stafford Beer, C. West Churchman[565] e Ludwig von Bertalanffy[566], bem como com a Razão Histórica de José Ortega y Gasset[567]. O resultado não é o abandono da teoria modal, mas sua incorporação a uma estrutura capaz de investigar como diferentes modalidades interagem historicamente, produzindo padrões de estabilidade, transformação ou colapso em pessoas, famílias, organizações e comunidades.

É importante observar que o PSMM não emprega a matriz modal de Dooyeweerd tal como foi formulada.[568] Como o interesse de De Raadt se desloca do que as coisas são para o que ocorre na vida das comunidades, a matriz foi reorganizada e passou de quinze para dezoito modalidades. Foram acrescentadas a modalidade operacional[569] (trabalho e serviço), a epistemológica (conhecimento e compreensão) e a regulativa (de caráter cibernético). Outras três foram reposicionadas: a informativa, a visionária e a lógica, que correspondem, respectivamente, à lingual, à pística e à analítica de Dooyeweerd. A ordem também se alterou. A modalidade ética passa a ocupar o topo da matriz, e a estética passa a preceder a jurídica. Por fim, a divisão rígida entre modalidades determinativas e normativas dá lugar a vínculos normativos e determinativos que atravessam

564 De Raadt, 2023.

565 Churchman, 1968; 1979; 1982.

566 Bertalanffy, 2014.

567 Ortega y Gasset, 2004.

568 A comparação completa entre as duas matrizes encontra-se em De Raadt e De Raadt (2014) e em Perdigão (2025, cap. 3, Figura 3-2).

569 No PSMM, "operacional" designa uma modalidade própria, associada ao trabalho e ao serviço, acrescentada por De Raadt à matriz de Dooyeweerd. Não deve ser confundida com a Função Operacional discutida no capítulo 2, que se refere ao modo como uma estrutura específica opera.

todas as modalidades. Neste capítulo, adota-se a nomenclatura do PSMM.

Essa mudança produz uma alteração importante no foco da análise. Enquanto a preocupação central de Dooyeweerd está voltada para compreender os diferentes aspectos que compõem e caracterizam a realidade, o PSMM concentra-se na viabilidade dos sistemas humanos ao longo do tempo. A questão deixa de ser apenas como algo existe e passa a incluir como esse algo vive, se desenvolve, enfrenta crises e busca preservar sua viabilidade diante das transformações históricas que o afetam. Comunidades, por exemplo, não são compreendidas apenas como entidades dotadas de determinadas características estruturais, mas como realidades vivas cuja continuidade depende da qualidade dos vínculos existentes entre seus diversos aspectos e sistemas.

O desenvolvimento do PSMM por Donald De Raadt não teve como ponto de partida a análise de projetos de engenharia à distância, mas a investigação direta de problemas vividos pelas comunidades.[570] Em vez de começar perguntando quais soluções deveriam ser adotadas para determinado empreendimento, seu trabalho partia da realidade concreta das pessoas e procurava compreender o que estava de fato acontecendo com a comunidade. Foi essa mesma perspectiva que orientou minha pesquisa de doutorado no bairro de Santa Terezinha, em Belo Horizonte, e que orienta hoje a pesquisa-ação em curso no bairro de Granja Vista Alegre, em Contagem. Aplicar o PSMM a partir da comunidade, e não a partir do empreendimento, altera

[570] A aplicação do Pensamento Sistémico Multimodal (PSMM) engloba estudos tanto em contextos urbanos — como Boden, Suécia (De Raadt, 2000), St. Jean, França e Piteå, Suécia (De Raadt e De Raadt, 2004)a, Melbourne, Austrália (De Raadt e De Raadt, 2008), Richmond Public-Housing Estate em Melbourne, Austrália (Seng, 2011) e no bairro Santa Terezinha em Belo Horizonte, Brasil (Perdigão, 2025) — quanto em contextos rurais e ribeirinhos, incluindo Rosvik, Suécia (De Raadt, 2002), Mürztal, Áustria (De Raadt e De Raadt, 2004b), Pontal do Paraná, Brasil (De Britto, 2014, 2018), Rosario, Argentina (Casiello, 2010) e Ilha de São Francisco Passífico, Brasil (Menon, 2023).

substancialmente o que a investigação pode revelar. Em vez de partir de um empreendimento e perguntar quais modalidades devem ser consideradas em sua análise, parte-se da própria comunidade para identificar os fatores que condicionam sua continuidade, sua capacidade de organização e sua possibilidade de construir o próprio futuro.

Essa reorientação favorece também a adoção de métodos empíricos de investigação. Em vez de limitar-se à análise filosófica das modalidades, o PSMM busca identificar, por meio de entrevistas, observações de campo e outras formas de coleta de dados, como os diferentes aspectos da vida comunitária efetivamente se relacionam em situações concretas. Softwares como o SmCube possibilitam mapear esses vínculos e compreender de que maneira determinadas intervenções fortalecem ou enfraquecem a viabilidade de uma comunidade.

Por essa razão, o PSMM se propõe a algo mais do que descrever a realidade ou identificar reducionismos. Ele busca contribuir para a formulação de respostas práticas aos problemas observados. O conhecimento produzido pela pesquisa torna-se, assim, um instrumento para orientar processos educativos e comunitários capazes de fortalecer a vida social. Questões como os impactos de uma barragem, a dependência econômica produzida por um empreendimento ou o enfraquecimento das instituições locais deixam de ser apenas objetos de análise teórica e passam a ser compreendidas como desafios concretos que exigem discernimento, participação comunitária e ação responsável.

A perspectiva sistêmica foi sendo complementada, nos anos seguintes, por um conjunto de leituras em economia, desenvolvimento e trabalho. Elas ajudaram-me a compreender com maior precisão uma insuficiência que a pesquisa de 2019 havia apenas começado a perceber, isto é, a atividade econômica não pode ser avaliada apenas pela quantidade de riqueza produzida, pela eficiência dos processos ou pela geração de empregos.

Schumacher[571], Max-Neef[572], Wendell Berry[573] e outros autores passaram a oferecer referências para compreender que também é necessário perguntar o que permanece na comunidade depois que a atividade econômica se estabelece ou termina, sua capacidade de trabalhar, produzir, organizar-se, atender às próprias necessidades e participar das decisões que condicionam seu futuro.

Essa ampliação da compreensão sistêmica também modificou minha maneira de compreender o trabalho. O desemprego moderno passou a ser visto não apenas como ausência estatística de postos de trabalho, mas como possível sintoma da desconexão entre a atividade produtiva e a comunidade que a sustenta. O trabalho moderno pode afastar-se progressivamente do ofício enraizado em um lugar, em relações de confiança e em responsabilidades compartilhadas, tornando-se uma atividade intercambiável, definida principalmente pelas necessidades de uma organização ou de um mercado. Sob essa perspectiva, o trabalho cumpre sua função social apenas quando permanece integrado ao contexto em que é realizado e contribui para a sustentação da vida comunitária. Quando esse vínculo se rompe, o trabalho pode continuar produzindo renda e, ainda assim, deixar de fortalecer a comunidade para servir predominantemente às necessidades do mercado ou de organizações externas. Nos relatos analisados, essa transformação aparece de formas concretas: pescadores que se tornam caseiros, caseiros que passam a depender do turismo e de auxílios, agricultores que passam a trabalhar como empregados mal remunerados. Não se trata simplesmente de pessoas que deixaram de trabalhar, mas de pessoas que perderam parte da relação entre seu trabalho e o lugar onde vivem.

Nenhum desses autores escreveu especificamente sobre mineração ou sobre barragens de rejeitos. Sua contribuição para esta pesquisa foi outra. Tais leituras ofereceram um vocabulá-

[571] Schumacher, 2010.
[572] Max-Neef, 1994.
[573] Berry, 1990; 2015a

rio capaz de ampliar a pergunta originalmente formulada em 2019. A questão deixou de ser apenas como tornar mais segura ou eficiente a gestão dos rejeitos e passou a incluir que tipo de atividade econômica pode coexistir com uma comunidade sem comprometer sua capacidade de trabalhar, produzir, organizar-se e decidir sobre o próprio futuro. Foi nesse deslocamento que a investigação deixou progressivamente de perguntar apenas sobre a técnica e passou a considerar também a comunidade como parte central do problema.

Essa mudança possui consequências importantes para o tema deste livro. Enquanto a pesquisa original procurava avaliar metodologias de gestão de rejeitos a partir de categorias filosóficas, o PSMM permite deslocar a investigação para os efeitos sistêmicos produzidos pela mineração sobre comunidades concretas. Torna-se possível observar como a mineração interfere na organização social, nas formas de trabalho, na distribuição da riqueza, na saúde, na educação, no ambiente e, de modo mais amplo, na capacidade da comunidade de construir e sustentar seu próprio futuro. É a partir dessa perspectiva que os casos de Mariana e Brumadinho são retomados nas páginas seguintes.

6.4 Reconstruindo o Caso: Mariana e Brumadinho à Luz do PSMM

Os desastres de Mariana e Brumadinho não constituem anomalias no cenário internacional da mineração, mas manifestações recentes de um padrão documentado há décadas. Já em 2004, mais de dez anos antes do rompimento de Fundão, a literatura especializada registrava a falha de mais de trinta barragens de rejeitos na década anterior, incluindo casos em que o material liberado percorreu centenas de quilômetros rio abaixo: na mina Omai, na Guiana (1995), 4,2 milhões de metros cúbicos de lama contendo cianeto atingiram o rio Essequibo; em El Porco, na Bolívia (1996), aproximadamente 400 mil toneladas de rejeitos foram transportadas por até 300 quilômetros ao longo do rio Pilcomayo; e em Los Frailes, na Espanha (1998), 6,8

milhões de metros cúbicos de rejeitos atingiram milhares de hectares agrícolas e parte das áreas úmidas protegidas de Doñana.[574] Em todos os casos, a exemplo do que se repetiria em Mariana e Brumadinho, as empresas operadoras eram reconhecidas, até o momento da falha, como referências em práticas ambientais

6.4.1 Construção do Modelo Empírico

A reconstrução apresentada nesta seção é documental e foi organizada a partir de cinco fatores identificados na análise do material empírico documental na análise dos dados consultados. Não foi realizado, para esta edição, um trabalho de campo com entrevistas próprias junto aos atingidos. São utilizados depoimentos registrados em pesquisas acadêmicas, ações civis públicas, relatórios de órgãos públicos, documentários e outros documentos que preservaram as falas das pessoas atingidas. Esse material permite aproximar a análise sistêmica da experiência vivida pelas comunidades e identificar relações que dificilmente apareceriam quando o desastre é observado apenas a partir de seus aspectos técnicos. A análise desse conjunto de dados permitiu identificar cinco fatores recorrentes na configuração da realidade comunitária anterior aos desastres. Esses fatores estruturavam as relações sociais e econômicas das comunidades e ajudam a compreender as condições que conduziram aos desastres. Por essa razão, foram adotados como eixos para a reconstrução dos casos de Mariana e Brumadinho, permitindo acompanhar como essas dimensões se articulavam antes dos rompimentos e como seus efeitos se manifestaram posteriormente nas comunidades atingidas.

Em termos metodológicos, o percurso seguido nesta reconstrução pode ser resumido em quatro movimentos: a reunião de dados documentais; a identificação de padrões recorrentes nesses dados; sua interpretação à luz do Pensamento Sistêmico Multimodal; e, a partir dessa interpretação, a formulação de

[574] Bridge, 2004a; 2004b.

proposições normativas sobre possíveis formas de organização da atividade minerária.

À luz do PSMM, cada fator é associado à modalidade que melhor qualifica o fenômeno investigado. Para os casos analisados neste capítulo, foram identificados os fatores Autoridade, Trabalho, Apropriação da Riqueza, Organização Social e Relação Ecológica, associados, respectivamente, às modalidades jurídica, operacional, econômica, social e biótica (ver Quadro 4).

Quadro 4 – Fatores e suas respectivas modalidades

Modalidade	**Fator**
Jurídica	Autoridade
Operacional	Trabalho
Econômica	Apropriação da Riqueza
Social	Organização Social
Biótica	Relação Ecológica

Esses cinco fatores não representam cinco causas independentes dos desastres, nem correspondem simplesmente a cinco categorias para classificar os danos. São dimensões interconectadas da realidade comunitária que emergiram da análise do material consultado e que, quando consideradas em conjunto, permitem investigar como determinadas configurações de relações podem fortalecer ou enfraquecer a viabilidade de uma comunidade.

Nos dois casos aqui analisados, esses fatores aparecem organizados segundo uma configuração característica da mineração convencional, marcada, respectivamente, pela concentração da autoridade, pela especialização do trabalho, pela apropriação externa da riqueza, pela limitação da participação comunitária e por uma relação ecológica predominantemente orientada apenas à mitigação dos impactos.

Ademais, a análise considera também uma dimensão anterior aos próprios rompimentos. Os desastres ocorreram em territórios onde a mineração já fazia parte da organização econômica e social local. A seleção dos cinco fatores busca, portanto, apresentar também a configuração da comunidade mineradora existente antes dos desastres. Trata-se de compreender como autoridade, trabalho, apropriação da riqueza, organização social e relação ecológica se articulavam no cotidiano dessas comunidades e como essa configuração ajuda a compreender a realidade em que os rompimentos ocorreram.

No caso do rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana (MG), essas relações eram particularmente evidente em Bento Rodrigues. O distrito possuía aproximadamente 600 habitantes e tinha na indústria extrativa mineral uma de suas principais atividades econômicas, ao lado da agricultura, do artesanato e do turismo. Um estudo realizado alguns anos antes do rompimento permite observar essa relação com maior precisão.[575] Os dados apresentados no Quadro 5 mostram a extensão dos vínculos da população de Bento Rodrigues com a atividade mineradora.

Quadro 5 – Relação com a mineração (Bento Rodrigues)[576]

Problema	**Percentual**
É empregado/subcontratado	12%
Tem familiar empregado/subcontratado	14%
É fornecedor	2%
Foi empregado/subcontratado	44%
Não tem relação	28%

Como é possível observar, 72% dos entrevistados tinham ou já haviam tido alguma relação com as mineradoras do entorno.

[575] Viana, 2012
[576] Viana, 2012, p. 203.

Os dados da pesquisa também mostram que 14% dos respondentes viviam em Bento Rodrigues entre dez e vinte anos, 60% entre vinte e quarenta anos e outros 14% há mais de quarenta anos. Isso indica que grande parte dos moradores possuía uma relação antiga com o lugar, construída não apenas pela residência, mas também pela história de suas famílias e pelo pertencimento à comunidade. Uma moradora afirmou: "Sempre fui moradora de Bento Rodrigues, nasci lá e toda minha família é de lá." Outro entrevistado declarou: "Sou de Bento, nascido e criado em Bento Rodrigues. Minha família toda de lá."[577]

A relação dos moradores com a mineração envolvia também uma avaliação positiva da atividade, compartilhada por 60% dos entrevistados.[578] Essa avaliação coexistia com o reconhecimento de problemas associados à atividade. Os moradores identificavam diferentes impactos decorrentes da mineração, como mostra o Quadro 6.

Quadro 6 – Problemas da mineração percebidos pelos moradores de Bento Rodrigues[579]

Problema	**Percentual**
Poluição das águas	94%
Rompimento das barragens	68%
Poeira	64%
Alteração dos costumes	66%
Possibilidade de desapropriação	64%

Quando questionados sobre os problemas que poderiam afetar a comunidade, 94% dos moradores mencionaram a poluição das águas e 68% apontaram o rompimento de barragens. Os dados mostram, portanto, que o risco de um rompimento

[577] Silva, Boava e Macedo, 2016, p. 15.
[578] Viana, 2012, p. 206.
[579] Viana, 2012, p. 215.

não era desconhecido por uma parcela significativa da população. Ele fazia parte do conjunto de ameaças reconhecidas pelos próprios moradores. Essa aparente contradição entre o conhecimento dos riscos e a avaliação positiva da atividade mineraria pode ser compreendida à luz do conceito de "catastrofismo esclarecido", desenvolvido por Jean-Pierre Dupuy. Para o filósofo, o problema diante da catástrofe não está apenas em desconhecer sua possibilidade, mas na dificuldade de conferir realidade a um acontecimento futuro que, embora reconhecido como possível, permanece distante da experiência presente. A catástrofe pode ser conhecida como possibilidade sem se tornar suficientemente crível para reorganizar as decisões e as relações que estruturam o presente.[580]

No caso de Bento Rodrigues, essa questão assume uma dimensão particularmente significativa. O rompimento de uma barragem figurava entre os problemas reconhecidos pelos moradores antes de 2015, mas sua possibilidade coexistia com a continuidade de uma relação economicamente importante e, para muitos, positivamente avaliada com a mineração.

Em 5 de novembro de 2015, aquilo que aparecia apenas como uma possibilidade identificada no cotidiano da comunidade tornou-se realidade. Rompeu-se a Barragem de Fundão, operada pela Samarco Mineração — *joint venture* entre a Vale S.A. e a anglo-australiana BHP Billiton. Cerca de 45 milhões de metros cúbicos de rejeitos de minério de ferro atingiram o distrito de Bento Rodrigues, praticamente destruindo-o, e seguiram pelo Rio Doce ao longo de 663 quilômetros até sua foz no Espírito Santo, deixando 19 mortos, mais de 600 desabrigados e cerca de 1,2 milhão de pessoas sem acesso regular à água potável. Foi, até então, o maior desastre da história da mineração no Brasil. O rompimento da barragem de Fundão transformou, assim, a percepção retrospectiva dos riscos que já estavam presentes na realidade comunitária.

O desastre de Fundão, contudo, não se restringiu ao distrito diretamente atingido pela onda de rejeitos. A destruição de co-

[580] Dupuy, 2011.

munidades situadas às margens do Rio Doce foi acompanhada pela interrupção de atividades econômicas, pela perda de formas tradicionais de trabalho e pela ruptura de relações estabelecidas entre as populações e o rio. A extensão territorial do desastre é, portanto, também uma extensão social. Os efeitos da ruptura alcançaram pessoas e atividades cuja relação com a barragem não era imediata, mas que dependiam das condições ecológicas, econômicas e sociais produzidas pelo território atingido.

Pouco mais de três anos depois, em 25 de janeiro de 2019, rompeu-se a Barragem B1 da mina Córrego do Feijão, em Brumadinho (MG), de propriedade da Vale S.A. — a mesma empresa que, por meio da Samarco, já era corresponsável pelo desastre de Mariana. Em 2017, a Potamos havia calculado fator de segurança de 1,06 para a Barragem I em condição não drenada, considerando a resistência de pico, valor inferior ao 1,3 adotado como referência nos critérios então utilizados para a avaliação da liquefação. No ano seguinte, as análises da TÜV SÜD no RISR de setembro de 2018 resultaram em fatores de segurança de 1,22, 1,18 e 1,09 nas seções C-C, D-D e E-E, respectivamente, sendo esta última a condição mais crítica. Embora a TÜV SÜD tivesse encontrado, portanto, o mesmo valor de 1,09 que já havia sido indicado pela Potamos, adotou 1,05 como fator de segurança mínimo aceitável para aquela análise e, com base nesse critério, atestou a estabilidade da estrutura.[581] Posteriormente, a Comissão Parlamentar de Inquérito da Assembleia Legislativa de Minas Gerais registraria que a Vale sabia que a Barragem I operava com fator de segurança de 1,09, "muito abaixo do recomendado internacionalmente, que é de 1,3", e classificaria como ideologicamente falso o laudo de estabilidade que sustentava a declaração de segurança da barragem.[582]

O rompimento matou 272 pessoas — a maior parte delas funcionários da própria mina ou de empresas terceirizadas,

[581] Brasil, 2019.
[582] Minas Gerais, 2019.

muitos almoçando no refeitório administrativo construído na área de inundação da barragem — e contaminou o Rio Paraopeba.

As consequências, entretanto, ultrapassaram novamente a área imediatamente alcançada pela lama. A Ação Civil Pública ajuizada pela Força-Tarefa Brumadinho[583] organiza os danos em categorias que incluem a destruição de moradias, a inviabilização de plantações e estruturas produtivas, o deslocamento forçado, a alteração abrupta do modo de vida, o enfraquecimento das relações comunitárias e familiares, a interrupção das formas de produção rural, a perda de atividades econômicas e comerciais, os impactos sobre cadeias produtivas, a perda de práticas de lazer e turismo e os danos à saúde.

A dimensão produtiva desses impactos aparece de maneira particularmente clara nas comunidades de Córrego do Feijão, Parque da Cachoeira e Alberto Flores. Segundo a Ação Civil Pública, a passagem da lama soterrou terras utilizadas pelos moradores para atividades econômicas e inviabilizou, sobretudo, a agricultura, a horticultura e a olericultura. Em Piedade do Paraopeba, a interrupção da produção agrícola atingiu inclusive uma experiência comunitária que havia começado poucos meses antes do desastre. Mais de vinte famílias de pequenos agricultores haviam se organizado em torno da Feira Movimento e de uma CSA (Comunidade que Sustenta a Agricultura). A contaminação da água e do solo interrompeu a produção de hortaliças e a comercialização dos produtos, afetando simultaneamente o trabalho dessas famílias e a iniciativa coletiva que havia sido criada para sustentá-lo.

---

583 A Força-Tarefa Brumadinho foi constituída após o rompimento da Barragem B1, em 2019, para articular a atuação do Ministério Público na investigação das causas do desastre, na apuração das responsabilidades e na defesa dos direitos das pessoas atingidas. Sua atuação envolveu, entre outras instituições, o Ministério Público Federal (MPF), o Ministério Público de Minas Gerais (MPMG) e a Polícia Federal, além da participação de diferentes órgãos públicos em ações de reparação dos danos socioeconômicos e ambientais.

Comunidades inteiras ficaram isoladas (Melo Franco, São José do Paraopeba, Marinhos, Casinhas, Sapé, Aranha); escolas suspensas; captação de água interrompida pela COPASA; campo de futebol do Córrego do Feijão virou pista de pouso de helicópteros; a Igreja Nossa Senhora das Dores virou quartel-general de socorristas; caminhões frigoríficos para corpos chegavam acompanhados de rabecão.[584]

Esse quadro de desorganização do território também envolveu o deslocamento de moradores e a ruptura de sua relação cotidiana com os lugares onde viviam. A Força-Tarefa registrou, no município de Brumadinho, 273 pessoas ou famílias obrigadas a deixar suas residências, correspondentes a aproximadamente 94 núcleos familiares, seja porque suas casas haviam sido atingidas, seja porque passaram a estar localizadas em áreas consideradas de risco. O próprio relatório observa que os efeitos sociais e econômicos alcançaram localidades distantes da área diretamente atingida pela lama, em razão da ruptura das relações estabelecidas com o Rio Paraopeba.

Esses números — 19 em Mariana e 270 mortos em Brumadinho; 663 quilômetros e uma bacia inteira de rios contaminados; bilhões de reais em indenizações ainda em disputa judicial mais de dez anos depois, no caso de Mariana, e sete anos depois, no caso de Brumadinho — mostram a dimensão dos desastres, mas não explicam, por si mesmos, a realidade em que eles ocorreram.

Para compreender essa realidade, é preciso voltar o olhar para as comunidades antes dos rompimentos e observar como a mineração se inseria em sua vida econômica, social e territorial. Nas subseções seguintes, cada um dos cinco fatores identificados na análise dos dados será examinado separadamente. Serão analisadas as relações de autoridade, o trabalho, a apropriação da riqueza, a organização social e a relação ecológica, buscando compreender como essas dimensões estavam configuradas antes dos desastres, como foram afetadas pelos rompimentos e quais de seus efeitos permanecem na vida das comunida-

[584] Minas Gerais, 2019.

des. O desastre, nesse sentido, não encerra o processo analisado. Ele torna visíveis as relações que já estavam presentes e que, em diferentes formas, continuam a fazer parte da realidade desses territórios.

6.4.1.1 Autoridade

O primeiro fator é a Autoridade, associado à modalidade jurídica. O fator diz respeito à capacidade de estabelecer regras, tomar decisões, fiscalizar, reconhecer direitos e determinar os limites legítimos da atividade minerária.

Na configuração da mineração convencional, a autoridade tende a se concentrar em estruturas burocráticas corporativas e governamentais. A comunidade aparece predominantemente como destinatária das decisões ou como participante apenas de processos consultivos, enquanto as decisões estratégicas permanecem em instituições externas ao território — configuração que será posteriormente sintetizada como governança burocrática.

Em Bento Rodrigues, a questão da autoridade pode ser observada a partir da distância entre o conhecimento comunitário sobre os riscos da mineração e a capacidade dos moradores de intervir nas decisões relacionadas a esses riscos. Como mostrado anteriormente, 68% dos entrevistados apontavam o rompimento de barragens entre os problemas que poderiam afetar a comunidade. O reconhecimento do risco, contudo, não conferia aos moradores qualquer poder efetivo sobre as condições de segurança das estruturas minerárias ou sobre a continuidade das operações. A população podia identificar o problema, mas as decisões relativas à segurança da barragem permaneciam sob responsabilidade de instituições externas à comunidade.

Essa distância entre conhecimento e capacidade de decisão também aparece no processo posterior de reconhecimento dos direitos dos atingidos. Os estudos sobre o desastre da Samarco identificam a “ausência de um trabalho de informação e preparo dos(as) atingidos(as) para reconhecimento dos seus proble-

mas e dos seus direitos"[585], o que dificultou a elaboração de uma pauta comum para o dimensionamento e a reparação dos danos. O problema, nesse caso, não estava apenas na ausência de participação formal nas decisões, mas também na ausência de condições para que os próprios atingidos pudessem reconhecer coletivamente sua situação, formular reivindicações e atuar diante das instituições responsáveis. O que temos, portanto, é um claro *déficit* de autoridade distribuída às vítimas

A autoridade, portanto, envolve também a capacidade de transformar a experiência vivida em conhecimento reconhecido, reivindicação coletiva e participação efetiva nos processos de decisão. Quando os atingidos dependem de instituições externas para identificar, classificar e definir os próprios danos, permanece uma assimetria entre aqueles que experimentam diretamente as consequências e aqueles que possuem os instrumentos institucionais para defini-las.

Em Brumadinho, essa separação entre conhecimento e capacidade de decisão aparece de forma ainda mais direta no âmbito da própria operação minerária. O caso de um funcionário que trabalhava havia quatro décadas na empresa e era considerado um dos maiores conhecedores da estrutura da Barragem B1 é significativo nesse sentido. Ele havia alertado seus superiores sobre problemas na barragem, mas, segundo o depoimento de seu filho, não tinha autonomia para acionar as autoridades.[586] O funcionário morreu no refeitório da mina, no momento do rompimento, depois de ter sido chamado na noite anterior para tentar conter um vazamento nos drenos.[587]

Em Córrego do Feijão, a assimetria na relação de autoridade e a naturalização do risco extremo atingiram níveis estarrecedores. Um dos moradores da região relatou que cerca de três meses antes do rompimento, a Vale realizou uma reunião com moradores da região e distribuiu uma pasta para que guardassem documentos, instruindo-os a correrem para um local alto

[585] Zhouri et al., 2016, p. 39.
[586] Favarini, 2026.
[587] Minas Gerais, 2021.

com aquela pasta caso a sirene tocasse.[588] Essa atitude evidencia que a possibilidade de ruptura já era tratada como uma realidade iminente pela própria empresa.

O episódio evidencia uma questão central para a análise da autoridade. O conhecimento sobre uma situação de risco não se converte necessariamente em capacidade de decisão quando o agente que identifica o problema não possui autonomia para interromper a atividade ou acionar diretamente as instâncias responsáveis pela intervenção.

Nos dois casos, portanto, a questão da autoridade aparece na separação entre aqueles que vivenciam ou conhecem diretamente os riscos e aqueles que detêm a capacidade institucional de decidir sobre eles. Em Bento Rodrigues, essa separação se expressava na posição da comunidade diante das decisões relativas à atividade minerária. Em Brumadinho, ela aparece dentro da própria estrutura operacional da empresa, na ausência de autonomia para que um trabalhador transformasse seu conhecimento da barragem em uma ação capaz de interromper ou modificar a operação. A autoridade, nesse sentido, constitui uma dimensão central para compreender como riscos reconhecidos puderam permanecer sem uma resposta proporcional à sua gravidade.

Não apenas a comunidade, mas as próprias estruturas de fiscalização estavam inseridas em uma relação econômica que poderia comprometer a independência das avaliações de segurança. As mineradoras contratavam e remuneravam as empresas responsáveis pelas auditorias de estabilidade de suas barragens, estabelecendo uma relação contratual na qual quem produzia a avaliação dependia economicamente de quem seria avaliado.[589] Uma conclusão que apontasse riscos suficientemente graves poderia comprometer a continuidade da atividade e, consequentemente, a própria relação comercial entre a consultoria e a empresa contratante, vinculando a autoridade técnica à manutenção desse vínculo.

---

[588] Pronzato e Pontone, 2019.

[589] Minas Gerais, 2019; Fraga et al., 2025.

Nessa estrutura, o rigor da avaliação passa a conviver com um incentivo econômico à manutenção do contrato. A empresa de auditoria precisa produzir uma avaliação técnica enquanto depende comercialmente daquela que está sendo avaliada. A segurança passa, assim, a ser condicionada por uma relação na qual autoridade técnica, interesse econômico e continuidade da produção estão diretamente conectados.

A dimensão da Autoridade também pode ser observada na resposta institucional ao desastre de Mariana, tanto nas medidas adotadas para prevenir novos rompimentos quanto no processo de reparação dos danos. O rompimento da Barragem de Fundão colocava à prova a capacidade das instituições responsáveis pela regulação e fiscalização da atividade minerária de transformar a experiência do desastre em mecanismos efetivos de prevenção, controle e reparação. Esperava-se que o rompimento de Fundão produzisse um endurecimento dos mecanismos de controle das barragens. As fontes analisadas apontam, entretanto, para movimentos de flexibilização do licenciamento ambiental e de redução do grau de risco atribuído a determinadas estruturas.[590] A reparação também passou a depender de estruturas institucionais complexas e prolongadas, conduzidas por processos judiciais, acordos e mecanismos administrativos posteriores ao rompimento. A experiência de Mariana mostra, assim, que a resposta institucional ao desastre se desenvolveu em meio a disputas e limitações quanto à capacidade de prevenir novos riscos e conduzir a reparação dos danos.

Dez anos depois do rompimento da Barragem de Fundão, o Ministério Público Federal denunciou 21 pessoas por homicídio doloso pelas 19 mortes, incluindo o ex-presidente da Samarco — um processo que segue em curso, mediado por um Termo de Ajustamento de Conduta de Governança e por uma garantia de R$2,2 bilhões, ambos posteriores ao dano.[591] A reparação em si tornou-se um segundo aparato burocrático. O "Novo Acordo do Rio Doce", homologado pelo STF apenas

[590] Minas Gerais, 2019; Montevecchio e Deneulin, 2025.
[591] Brasil, s. d.

em novembro de 2024 — nove anos após o desastre —, já pagou mais de 303 mil indenizações num fundo estimado em R$20 bilhões ao longo de dez anos, com rodadas do Programa Indenizatório Definitivo ainda sendo reabertas em 2026.[592]

Em Brumadinho, essas questões aparecem de forma particularmente evidente no próprio processo de reparação. O Ministério Público de Minas Gerais documentou, sob a categoria formal de "revitimização", casos de funcionários da mineradora que abordaram moradores para comprar seus imóveis "pelo preço certo", explorando o medo de novos rompimentos; de psicólogas contratadas pela empresa que questionavam, durante o atendimento às vítimas, a responsabilização da própria empresa; e de convocações individuais a lideranças comunitárias identificadas, pelos técnicos do próprio Ministério Público, como tentativas de desmobilizar reivindicações coletivas por meio de negociação individual.[593] O mesmo padrão observado em Mariana se repete aqui. O aparato que faltou para prevenir o dano tornou-se, depois dele, o único caminho disponível às vítimas — e um caminho lento.

Algumas das fontes analisadas interpretam a repetição de falhas, a reincidência dos riscos e a demora das respostas institucionais como uma espécie de "rotina criminal"[594], na qual o custo humano e ambiental do descumprimento das condições de segurança permanece inferior, para as empresas, ao custo econômico da interrupção da produção.

A Autoridade aparece, portanto, como uma questão de distribuição efetiva da capacidade de decisão. Informações sobre os riscos podem estar disponíveis, moradores podem conhecer profundamente o território e trabalhadores podem reconhecer problemas técnicos, mas a capacidade de transformar esse conhecimento em decisão permanece concentrada nas estruturas burocráticas responsáveis pela operação, pela fiscalização e pela regulação da atividade. A comunidade afetada experimen-

[592] Ibidem.
[593] Minas Gerais, 2019.
[594] Pronzato e Pontone, 2019.

ta diretamente os efeitos das decisões, enquanto dispõe de participação limitada na definição dos critérios que estabelecem os riscos aceitáveis, as medidas de segurança necessárias e os limites legítimos da atividade minerária.

Essa configuração caracteriza a Autoridade na mineração convencional analisada neste capítulo. A definição do que é permitido, seguro, justo ou legítimo permanece predominantemente nas mãos de instituições corporativas e governamentais externas às comunidades afetadas. Essa distribuição da autoridade estabelece as condições em que as demais relações se desenvolvem, influenciando a organização do trabalho, a apropriação da riqueza, a organização social e a relação com o ambiente, dimensões que serão examinadas nos fatores seguintes.

6.4.1.2 Trabalho

O segundo fator é o Trabalho, associado à modalidade operacional. Nesta análise, interessa compreender não apenas a existência de atividades laborais, mas a forma como o trabalho se organiza, as funções que distribui e sua relação com a vida da comunidade.

Na configuração da mineração convencional, o trabalho tende a se organizar de forma especializada e hierarquizada, segundo as necessidades da estrutura produtiva da empresa. As funções, qualificações e procedimentos são definidos pela atividade minerária, estabelecendo uma separação entre o trabalho realizado na mineração e as demais formas de trabalho existentes no território. A comunidade pode fornecer parte da força de trabalho necessária à operação, enquanto a organização desse trabalho permanece subordinada a uma estrutura produtiva externa. Essa configuração será sintetizada como especialização do trabalho.

Nas comunidades estudadas, essa configuração se expressava pela presença de empregos especializados, dependentes de equipamentos e conhecimentos específicos e vinculados diretamente à estrutura produtiva das empresas de mineração. O trabalhador passava, assim, a exercer uma função definida por

uma organização que não pertencia à comunidade e cuja atividade respondia a uma lógica produtiva própria.

Em Bento Rodrigues, os dados do Quadro 5 apresentado anteriormente mostram a extensão dessa relação. Entre os entrevistados, 12% eram empregados ou subcontratados das mineradoras, 14% possuíam familiares nessa condição, 2% eram fornecedores e 44% já haviam trabalhado anteriormente para empresas de mineração. A mineração, portanto, não era apenas uma atividade presente no território. Ela havia se tornado uma das principais formas de organização do trabalho disponível aos moradores.

Do ponto de vista da viabilidade comunitária, essa configuração apresenta um problema. O emprego especializado mobiliza a capacidade de trabalho das pessoas, mas o faz a partir de uma estrutura produtiva e de demandas externas à comunidade. O trabalhador passa a depender da empresa para acessar os meios, os conhecimentos, os equipamentos e a organização necessários à realização de seu trabalho.

Como disse um comerciante e membro da Associação do Parque da Cachoeira:

> Nós somos escravos do minério. Vocês veem jovens aqui. Perguntem a eles se alguém tem um curso. Ninguém sabe trabalhar, a não ser de servente ou com minério. Não existe nada para ajudar a cidade. Nossos governantes têm que olhar para a nossa comunidade, para a nossa cidade, sim, têm que trazer outra fonte de renda… [595]

Essa forma de organizar o trabalho pode ser relacionada, nas fontes analisadas, a uma longa história de exploração mineral em Minas Gerais.[596] A mineração colonial foi sustentada por trabalho escravizado, incluindo trabalhadores africanos especializados nas atividades de extração. A distância histórica entre esse regime e o trabalho assalariado contemporâneo não

[595] Minas Gerais, 2021, p. 103.
[596] Ladeira et al., 2023.

elimina, por si só, a permanência de uma assimetria fundamental. O território fornece os recursos e o trabalhador fornece sua força de trabalho, enquanto os meios de produção, a organização da atividade e a apropriação principal da riqueza permanecem externos à comunidade.

Essa assimetria também se expressa na forma como os riscos são distribuídos no processo produtivo. As fontes interpretam as mortes de trabalhadores em Brumadinho como expressão contemporânea da desvalorização da vida do trabalhador diante da continuidade da produção. A morte de centenas de empregados e terceirizados dentro das próprias instalações da empresa torna particularmente evidente como a organização do trabalho pode colocar aqueles que realizam diretamente a atividade sob riscos cuja definição e gestão permanecem fora de seu controle.

A atividade pode proporcionar renda e estabilidade individual, mas seus efeitos sobre a capacidade de reprodução da comunidade dependem de como o trabalho se articula com as demais dimensões da vida. Quando os meios de produção, os conhecimentos e as finalidades da atividade permanecem externos à comunidade, parte importante do processo de produção da vida também se desloca para fora dela.

Ainda existiam, contudo, formas de trabalho que seguiam uma lógica diferente. Agricultura, pesca e pequeno comércio permaneciam ligados diretamente ao território e às relações comunitárias. Em muitos dos territórios atingidos, essas atividades também se articulavam por meio da pluriatividade.[597] Uma mesma família podia combinar agricultura, criação de animais, pesca, extrativismo e outras fontes de sustento, enquanto a troca de peixes, verduras, ovos e leite entre moradores complementava a alimentação e a renda. Essa combinação reduzia a dependência de uma única fonte de trabalho e mantinha parte do sustento dentro da própria comunidade.

Nesses casos, trabalhar significava também cuidar da família, produzir para a própria subsistência, atender às necessida-

[597] Fraga et al., 2025.

des dos vizinhos e transmitir conhecimentos entre gerações. Eram formas de trabalho nas quais produção e vida comunitária permaneciam mais próximas. Não constituíam a forma predominante de organização econômica desses territórios, mas preservavam uma relação entre trabalho, família e comunidade que o emprego especializado tendia a enfraquecer.

A relação entre essas formas de trabalho e o território se torna mais evidente quando se observa o que ocorreu após os rompimentos das barragens de Fundão, em Mariana, e B1, em Brumadinho. A lama de rejeitos alterou áreas de cultivo, cursos d'água e outros espaços utilizados cotidianamente pelas comunidades, comprometendo as condições materiais que sustentavam atividades como agricultura, pesca e criação de animais. A transformação da paisagem, como pode ser visto na Figura 23, permite visualizar uma dimensão dessa perda. As plantações que aparecem às margens do rio Paraopeba, em Brumadinho, não representavam apenas uma ocupação econômica do solo, mas condições materiais para a continuidade de formas de trabalho vinculadas diretamente ao território. Com o rompimento, a possibilidade de utilizar essas áreas para a produção foi comprometida, atingindo uma atividade que articulava trabalho, sustento familiar e relação com o lugar.

Uma agricultora que trabalhava havia 25 anos no Parque da Cachoeira resumiu a dimensão da perda ao afirmar que "nossa forma de sobrevivência foi destruída".[598] Um agricultor que mantinha uma plantação na mesma região relatou que sua terra havia acabado, que a produção já não existia e que o sistema de irrigação estava soterrado pela lama. A perda atingia, portanto, as próprias condições materiais que permitiam a continuidade de seu trabalho. Em seu relato:

> A minha terra acabou, a produção não existe mais. Estou sem saber o que fazer, sem destino. Além disso, o sistema de irrigação está todo debaixo do barro. […]

[598] Legado de Brumadinho, 2026

> Como vou abandonar o lugar em que conheço as pessoas, fiz amigos, construí minha vida?[599]



Figura 23 – Plantações às margens do Rio Paraopeba no Município de Mário Campos/ MG[600].

O que foi destruído, portanto, não era somente uma fonte de renda. A perda dessas condições interrompeu uma forma de trabalho que permitia às famílias produzir, diversificar suas fontes de sustento e manter parte de sua subsistência vinculada às próprias atividades.

Além do trabalho agrícola, a pesca revela outra forma de trabalho diretamente vinculada às condições locais de vida. Um pescador que exercia a atividade havia cerca de trinta anos em Juatuba teve seu pedido de auxílio emergencial negado por

[599] Minas Gerais, 2021, p. 101.
[600] Minas Gerais, 2019, p. 27.

não possuir carteira profissional de pescador, apesar de fotografias e testemunhas comprovarem sua atividade. Ao afirmar que ele e sua família dependiam da pesca e que seu "dia a dia" havia acabado, o relato evidencia que a perda ultrapassava a dimensão da renda. O desastre interrompeu uma atividade que fazia parte de sua rotina, contribuía para o sustento familiar e organizava uma parcela importante de sua vida cotidiana.[601]

Em Mariana, o mesmo processo se repete entre os pescadores do Rio Doce. O presidente da Associação de Pescadores de Colatina estimou em 270 o número de pescadores afetados, atingindo uma prática que envolvia três gerações.[602] Uma pescadora entrevistada por pesquisadores do GESTA/UFMG descreveu sua relação com o rio como parte da própria história familiar. Ela havia nascido e crescido às suas margens e aprendido a pescar dentro de uma tradição recebida de seu pai. A pesca, nesse caso, não era simplesmente uma ocupação. Era uma prática por meio da qual a família se sustentava, conhecimentos eram transmitidos e relações com o lugar eram mantidas.

> Eu comia peixe de dentro da barriga da minha mãe! [...] Eu nasci e cresci nas margens do rio Doce [...] eu até agradeci a Deus por o meu pai não estar vendo aquilo, porque o meu pai já se foi. Era o pescador mais velho que tinha na região.[603]

Os efeitos sobre o trabalho alcançaram também atividades que não dependiam diretamente da agricultura ou da pesca, mas das relações econômicas e da circulação de pessoas que essas atividades ajudavam a sustentar. Na Cachoeira do Choro, afetada pelo desastre de Brumadinho, a redução do fluxo de turistas, pescadores e sitiantes atingiu atividades que dependiam dessa circulação, mostrando que a interrupção de determinadas formas de trabalho produzia efeitos sobre outras atividades econômicas da comunidade.

---

601 Minas Gerais, 2019.
602 Milanez e Losekann, 2017.
603 Milanez e Losekann, 2017, p. 310.

> Com a queda brusca do movimento de pessoas da Cachoeira do Choro, diversas pessoas que lá trabalhavam como comerciantes, caseiros, trabalhadores da construção civil – entre outras ocupações que dependiam do intenso fluxo de turistas, pescadores e sitiantes – ficaram sem renda e estão passando necessidade. Muitos estão se vendo obrigados a deixar a localidade e mudar-se para outras cidades à procura de emprego e renda.[604]

Os desastres produziram, assim, uma situação particularmente significativa para a análise do Trabalho. As formas de trabalho que já predominavam antes dos rompimentos, especialmente o emprego especializado ligado à mineração, coexistiam com atividades que ainda mantinham uma relação mais direta entre produção, família e comunidade. Os rompimentos atingiram essas diferentes formas de trabalho, mas de maneiras distintas: enquanto o emprego especializado permanecia associado à estrutura produtiva da mineração, atividades como agricultura, pesca e pequeno comércio tiveram suas próprias condições de realização comprometidas. Para as famílias que dependiam dessas atividades, a perda das condições de produção exigiu a busca de outras formas de sustento, muitas vezes por meio do emprego assalariado e especializado. O resultado foi a redução das possibilidades de produzir e sustentar a vida a partir das próprias atividades da comunidade e o aumento da dependência em relação a empregos vinculados a estruturas produtivas externas.

Essa dinâmica também apareceu no processo de reparação. A reconstrução das áreas atingidas mobilizou grandes obras e concentrou, em um período relativamente curto, oportunidades de trabalho que atraíram mão de obra de outras regiões. Estima-se que cerca de dez mil trabalhadores vindos de fora do estado tenham se instalado em Brumadinho para atuar nas obras de reparação[605]. Ao mesmo tempo, moradores locais encontraram dificuldades para acessar esses postos em razão das

---

[604] Minas Gerais, 2019, p. 34.
[605] Cavalcante, 2023.

exigências de qualificação profissional apresentadas pelas empresas contratadas[606]. A reconstrução reproduziu, assim, uma característica já observada na organização do trabalho minerário. Novamente temos oportunidades de trabalho concentradas em uma estrutura produtiva especializada, cuja organização e critérios de acesso permanecem definidos por agentes externos à comunidade.

A reparação também alterou as relações de trabalho que já existiam nas comunidades. O relatório registra que o pagamento do auxílio emergencial da Vale contribuiu para reduzir a disponibilidade de trabalhadores para atividades informais e autônomas, como serviços de diaristas, pedreiros e faxineiras, produzindo dificuldades para moradores que dependiam da contratação local de mão de obra.[607] O mecanismo de reparação financeira interferiu, assim, na própria organização do trabalho cotidiano. Ao mesmo tempo em que grandes obras atraíam trabalhadores de fora, a renda transferida às famílias atingidas modificava as condições pelas quais serviços locais eram ofertados e contratados.

Essa transformação ajuda a compreender por que o trabalho não pode ser reduzido à geração de renda. Quando uma comunidade perde a possibilidade de cultivar suas áreas de produção, pescar em seus rios ou manter seus pequenos negócios, perde também parte de sua capacidade de cuidar de si mesma. Junto com essas atividades, ficam comprometidos conhecimentos, relações de cooperação, formas de sustento familiar e possibilidades de produzir a própria subsistência . A renda obtida por meio de um novo emprego pode garantir a sobrevivência da família, mas não recompõe necessariamente as relações entre trabalho, produção e vida comunitária que existiam anteriormente.

> Pescador não é uma profissão. Pescador é um modo de vida. Pescador é pescador até dormindo. Vem o vento sul, a gente, mesmo dormindo, já está pensando no tra-

606 Ibidem.
607 Ibidem.

> balho. Pescador vive a pesca e não da pesca. Nós estamos perdendo tudo o que era de identidade como povo. Quando eu cheguei aqui eu vendia o peixe na palha do coco, debaixo dos coqueiros lá. A gente vê tudo isso jogar fora, gerações de pescadores com todo esse conhecimento específico de pesca… E ainda a impossibilidade de a gente acessar outras áreas de pesca pra gente continuar pescando, pois é o que o povo sabe fazer. Devolver a dignidade para as pessoas. Eu vejo pescadores chorando. É muito mais que a questão financeira.[608]

A configuração encontrada nos casos analisados revela, portanto, uma assimetria na organização do trabalho. A mineração concentrava uma parcela importante das oportunidades de emprego e vinculava o trabalho dos moradores a uma estrutura produtiva externa. Ao mesmo tempo, agricultura, pesca e outras atividades mantinham formas mais diretas de articulação entre produção, sustento familiar e vida comunitária. Os desastres atingiram justamente parte dessas atividades, reduzindo as possibilidades de trabalho que permitiam às famílias produzir, diversificar seu sustento e transmitir conhecimentos entre gerações. As formas de trabalho mais diretamente integradas à vida comunitária foram, assim, justamente aquelas que tiveram suas condições de realização mais profundamente comprometidas. Diante dessa perda, muitas famílias precisaram reorientar suas estratégias de sustento, recorrendo a empregos e outras atividades que lhes permitissem garantir a renda sem depender da terra, dos rios ou das demais condições que haviam sustentado seu modo de vida. O resultado foi uma alteração da própria organização do trabalho. A necessidade de garantir a sobrevivência passou a empurrar parte dessas famílias para formas de inserção econômica subordinadas a estruturas externas à comunidade.

---

608 Fraga et al., 2025, p. 99.

6.4.1.3 Apropriação da Riqueza

O terceiro fator é a Apropriação da Riqueza, associado à modalidade econômica, entendida como a maneira pela qual o valor produzido pela atividade minerária é apropriado, distribuído e reinvestido no território.

Na mineração convencional, grande parte da riqueza produzida pela extração tende a ser apropriada fora do local onde ela ocorre. A atividade gera empregos, tributos e circulação econômica local, enquanto parcela significativa do valor produzido é destinada a acionistas, investidores e centros econômicos externos. Essa configuração pode ser compreendida pela relação entre extração e concentração. A riqueza é produzida a partir dos recursos existentes na comunidade, mas sua apropriação não permanece, na mesma proporção, entre aqueles que nela vivem.

Essa estrutura produz o que as fontes analisadas denominam minerodependência.[609] O fenômeno ultrapassa a dependência da receita pública e do emprego. À medida que a mineração passa a concentrar parte expressiva da arrecadação municipal, das oportunidades de trabalho e da circulação econômica, a autonomia do município diante da própria atividade tende a se reduzir. A dependência econômica passa, assim, a interferir nas condições pelas quais a comunidade pode decidir sobre seu próprio desenvolvimento.

Essa concentração pode ser observada na própria composição da economia municipal. O Quadro 7 apresenta a participação da agropecuária, dos serviços e da indústria na economia de Mariana entre 2010 e 2013, permitindo comparar o peso de cada setor e perceber a distância entre a atividade industrial e as demais atividades econômicas.

[609] Ladeira et al., 2023; Pronzato e Pontone, 2019.

Quadro 7 – Valor adicionado por setor em Mariana (R$ bi)[610]			
Ano	**Agropecuária**	**Serviços**	**Indústria**
2010	0,010	0,971	2,588
2011	0,010	1,401	4,193
2012	0,012	1,465	3,753
2013	0,019	1,776	4,635

Entre 2010 e 2013, o valor adicionado pela indústria foi muito superior ao da agropecuária e também ao dos serviços. Em 2013, por exemplo, a indústria respondeu por R$ 4,635 bilhões, enquanto os serviços alcançaram R$ 1,776 bilhão e a agropecuária apenas R$ 19 milhões.[611] Essa diferença ajuda a compreender o peso que a mineração, principal atividade industrial do município naquele período, ocupava na economia local. Não se tratava apenas de uma atividade entre outras, mas de uma atividade com peso suficiente para estruturar parte significativa da economia municipal.

Essa concentração econômica também se refletia diretamente nas receitas municipais. O Quadro 8 reúne os valores arrecadados por Mariana por meio da CFEM e do ISSQN entre 2013 e 2015, permitindo dimensionar a importância da atividade minerária para as receitas do município. A Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) e o Imposto Sobre Serviços de Qualquer Natureza (ISSQN) representavam parcelas expressivas da receita municipal. No caso do ISSQN, parte importante da arrecadação estava relacionada às empresas terceirizadas que prestavam serviços às próprias mineradoras, como transporte, alimentação e projetos.

[610] FJP, 2016 apud Silva, Boava e Macedo, 2016.
[611] Silva, Boava e Macedo, 2016.

Quadro 8 – Valores da CFEM e ISSQN em Mariana (R$)[612]		
Ano	**CFEM (R$)**	**ISSQN (R$)**
2013	89.598.465,62	23.910.552,43
2014	71.556.233,58	25.901.675,28
2015	61.562.086,00	-

A redução da CFEM entre 2013 e 2015 não representava uma diversificação da economia de Mariana. Ela estava relacionada à queda do preço internacional do minério de ferro e, portanto, à própria dinâmica do setor que sustentava grande parte da arrecadação municipal. Às vésperas do rompimento da Barragem de Fundão, o município encontrava-se, assim, fortemente dependente da atividade minerária. A mesma atividade que produzia parte significativa da receita pública também constituía uma fonte de dependência para o poder público local.

A profunda minerodependência de Mariana reflete-se diretamente em seu orçamento. As fontes estimam que cerca de 80% da receita pública municipal era composta exclusivamente pelos royalties da atividade extrativista, o que, na prática, transformava a prefeitura local em um "órgão empregador" totalmente atrelado ao desempenho do setor. Nesse contexto, a dependência econômica da mineração pode produzir também um constrangimento à expressão de críticas e denúncias. Um morador entrevistado no documentário *Fantasmas da Lama* afirma ser "dependente totalmente da mineração" e que "a mineração é o nosso Porto Seguro aqui", antes de reconhecer que, embora todos estejam sofrendo, "muita gente tem medo de falar […] por medo de perder emprego"[613].

A situação observada em Mariana não era exclusiva desse município. Em Brumadinho, a mineração também ocupava po-

[612] DNPM, 2016; Siconfi, 2016 apud Silva, Boava e Macedo, 2016
[613] Ladeira et al., 2023.

sição central na estrutura econômica e fiscal local. Antes do rompimento, a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM) proveniente da mineração correspondia a cerca de 60% da arrecadação municipal, enquanto a Vale respondia por aproximadamente 65% da CFEM arrecadada no município. A empresa também era responsável por cerca de 11% dos empregos locais. Somente em 2018, a arrecadação de CFEM alcançou R$ 62,3 milhões, colocando Brumadinho entre os municípios que mais recebiam essa compensação no país.[614] A importância da mineração, portanto, não se limitava ao número de trabalhadores empregados diretamente pela empresa. Ela alcançava a própria capacidade financeira do município e diversas atividades que dependiam da circulação econômica produzida pelo setor.

A concentração econômica também reduzia o espaço para a diversificação. Atividades como agricultura familiar, agroecologia, turismo ecológico e outras formas de produção vinculadas aos recursos naturais e às características próprias de cada região encontravam maiores dificuldades para se desenvolver quando a mineração ocupava grande parte da estrutura econômica local. Em regiões anteriormente marcadas pela agricultura, a atividade mineral também passou a atrair trabalhadores para empregos assalariados, contribuindo para o abandono de hortas e outras atividades vinculadas diretamente à terra e para a perda de conhecimentos associados a essas práticas.

Em Brumadinho, essa situação aparece de forma particularmente significativa diante do potencial turístico e gastronômico associado ao Inhotim e às áreas rurais do município.[615] A comunidade dependia da mineração tanto pela riqueza que ela gerava quanto pelas relações econômicas que se formavam ao seu redor. A dependência tende a produzir, assim, uma espécie de "cegueira vocacional"[616], na qual o município passa a enxergar sua própria economia a partir do minério e encontra difi-

[614] Nitahara, 2019; Minas Gerais, 2021.
[615] Minas Gerais, 2021.
[616] Ladeira et al., 2023.

culdade para reconhecer outras possibilidades de desenvolvimento.

As fontes analisadas caracterizam a mineração em larga escala como uma atividade "antropofágica", que consome "geologias inteiras" e também relações sociais, restringindo o surgimento de outras possibilidades econômicas.[617] O chamado "sequestro da água" aprofunda essa dinâmica ao atingir as condições materiais de outras atividades econômicas. Ao comprometer recursos hídricos necessários à agricultura, ao consumo e ao turismo, a atividade mineral pode reduzir as possibilidades de circulação e geração de renda de setores que poderiam contribuir para uma economia mais diversificada. A dependência econômica, nesse sentido, relaciona-se também às condições ambientais que permitem a reprodução de outras atividades.

Essa dependência possui ainda uma dimensão temporal. A mineração trabalha com um recurso de "uma safra só"[618]. A jazida pode sustentar durante décadas uma economia fortemente concentrada, enquanto agricultura, turismo e outras atividades podem permanecer no território por gerações quando suas condições de reprodução são preservadas. Quanto mais a economia municipal se estrutura em torno da extração e menos alternativas desenvolve durante o período de exploração, maior se torna a vulnerabilidade diante da queda do preço do minério, da interrupção da operação ou da exaustão da jazida. O risco alcança, nesse caso, as condições econômicas das gerações que viverão no território depois da mineração.

No campo político, confrontar a empresa passa a envolver custos imediatos para o próprio poder público. As fontes relacionam essa condição à influência das mineradoras sobre os espaços de decisão política e ao financiamento de campanhas de parlamentares.[619] A realização, pelas próprias empresas, de

---

617 Pronzato e Pontone, 2019.

618 Ladeira et al., 2023.

619 Milanez e Losekann, 2017; Guimarães, Milanez e Ribeiro, 2019; Ladeira et al., 2023; Pronzato e Pontone, 2019.

obras e serviços que deveriam estar sob responsabilidade do poder público reforça essa relação, criando vínculos de dependência e gratidão entre a empresa, a Prefeitura e a população. A minerodependência assume, assim, uma dimensão social e política que ultrapassa a contabilidade municipal e pode influenciar a própria capacidade do poder público de estabelecer limites à atividade.

Essa dimensão política pode ser observada de forma concreta em Mariana após o rompimento da Barragem de Fundão. À época do desastre, o prefeito declarou publicamente que 89% da arrecadação do município provinham da mineração, sendo a Samarco apontada como a principal fonte dessa receita.[620] Em 2016, a própria Prefeitura liderou uma frente pela retomada das atividades da empresa, com apoio sindical, pressionando pela reabertura da Samarco.[621] A posição do município expressava uma tensão difícil de ignorar. Era necessário responsabilizar a empresa e proteger a população atingida, mas a paralisação da atividade também comprometia uma parcela importante das receitas e da economia local. A dependência econômica, nesse contexto, colocava o poder público diante de um conflito entre a defesa dos interesses da população atingida e a necessidade de preservar a atividade da qual dependiam suas próprias receitas e parte da economia municipal.

A dependência também se estende para além da relação direta entre a empresa e o poder público, alcançando as atividades econômicas que se organizam ao redor da mineração. A interrupção da atividade extrativa pode atingir trabalhadores e empresas que não estão diretamente envolvidos na extração, mas que dependem da circulação econômica produzida por ela. Essa característica se tornou evidente depois dos rompimentos, quando a interrupção da atividade extrativa afetou uma série de relações econômicas vinculadas ao comércio, ao transporte e aos serviços.

---

620 Agência Brasil, 2017; Biazon, 2018.

621 Agência Estado, 2016.

O Plano Integrado de Apoio ao Turismo, elaborado pela Associação de Turismo de Brumadinho após o desastre — que provocou forte retração no setor, com queda de 33% no fluxo de visitantes do Inhotim, cancelamento de 90% das reservas em hotéis e pousadas e cerca de quarenta dias sem trabalho para caminhoneiros locais —, inclui entre seus objetivos "a diminuição da dependência relativa à mineração".[622] O reconhecimento desse objetivo é significativo porque evidencia que a dependência havia alcançado atividades que, embora distintas da mineração, estavam inseridas na mesma estrutura econômica local.

O alcance dessa dependência torna-se ainda mais evidente quando se observam atividades cuja dinâmica não estava diretamente vinculada à mineração. Os efeitos econômicos dos rompimentos alcançaram também essas atividades, seja pela destruição de suas próprias condições de funcionamento, seja pela redução da circulação de pessoas e recursos na economia local. No Parque da Cachoeira, por exemplo, a horta que abastecia a região foi soterrada e pequenos produtores tiveram suas atividades interrompidas.[623] Caminhoneiros permaneceram cerca de quarenta dias sem trabalho em razão do fechamento de outras mineradoras da região, enquanto taxistas foram prejudicados pela redução do fluxo de turistas e compradores.[624] Em Cachoeira do Choro, em Curvelo, um ponto turístico ligado à pesca e ao banho no Rio Paraopeba entrou em declínio, afetando donos de bares, *campings*, vendedores ambulantes, agricultores e até lojas de material de construção.[625]

O desastre, portanto, atingiu uma economia que já apresentava pouca diversificação e reduziu ainda mais a variedade de atividades capazes de gerar trabalho e renda. A dependência econômica se amplia à medida que a mineração passa a ocupar uma posição central na estrutura econômica municipal. Essa

[622] Minas Gerais, 2019.
[623] Minas Gerais, 2019.
[624] Ibidem.
[625] Ibidem.

centralidade se prolonga no tempo, condicionando as perspectivas econômicas do município após o encerramento da exploração, alcança as decisões do poder público e se estende às atividades que passam a depender da circulação econômica produzida pela mineração. Em seu estágio mais amplo, essa dependência pode alcançar inclusive atividades que não têm a mineração como atividade principal, porque a própria economia local foi reorganizada em torno da atividade extrativa. Quanto mais essa estrutura se consolida, maior se torna a concentração das possibilidades econômicas remanescentes e, consequentemente, a própria dependência em relação à mineração e às atividades que dela derivam.

É nesse ponto que a diversificação econômica ganha importância para compreender a autonomia econômica da comunidade. Uma economia diversificada não é formada apenas pela coexistência de diferentes atividades; essas atividades também estabelecem relações entre si e mantêm recursos circulando dentro da própria comunidade. Quando uma atividade gera renda para outras, forma-se uma rede de interdependência capaz de sustentar diferentes trabalhadores e estabelecimentos. Observar essas relações permite compreender o que se perde quando uma atividade é interrompida e, ao mesmo tempo, distinguir essa dinâmica daquela produzida por uma economia fortemente dependente da mineração.

Essa forma de circulação econômica possui uma natureza diferente daquela discutida anteriormente em relação à apropriação da riqueza produzida pela mineração. Enquanto a mineração produzia grande volume de valor e mantinha parcela significativa de sua apropriação fora do município, atividades como a pesca, a agricultura, o comércio e o turismo formavam redes menores de circulação econômica entre os próprios moradores. Uma atividade gerava renda para outras, que, por sua vez, movimentavam novos trabalhadores e estabelecimentos. Embora movimentassem valores muito menores que a mineração, essas redes contribuíam para a autonomia econômica da comunidade

ao manter parte dos recursos circulando entre seus próprios moradores.

A pesca oferece um exemplo dessa dinâmica. Antes do desastre, a atividade dos pescadores não se limitava à renda obtida diretamente com a venda dos peixes. Ela movimentava outras atividades econômicas relacionadas ao rio e ao lazer, como o aluguel de chácaras e sítios, áreas de *camping*, festividades e a comercialização de produtos regionais. A interrupção da pesca podia, portanto, repercutir sobre atividades que dependiam, em diferentes graus, da circulação gerada pelos pescadores.

A Figura 24 mostra como essa interdependência se manifestou após a interrupção da pesca. A queda das vendas e dos preços dos pescados reduziu a circulação de recursos que alcançava outras atividades. Os aluguéis de chácaras, sítios e áreas de *camping* foram interrompidos, o público das festividades diminuiu e as vendas de produtos regionais foram reduzidas, afetando, por sua vez, outros trabalhadores e estabelecimentos. A interrupção da pesca, portanto, não produziu efeitos apenas sobre os pescadores: propagou-se por uma rede econômica formada por atividades que, em diferentes graus, dependiam da circulação gerada por eles.

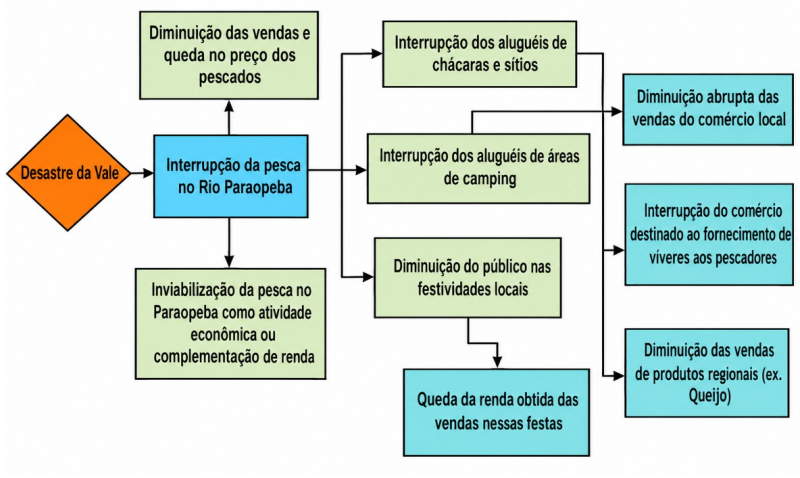


Figura 24 – Efeitos da interrupção da pesca no Rio Paraopeba sobre atividades econômicas locais.[626]

Os efeitos econômicos do desastre, contudo, não se restringiram à cadeia relacionada à pesca. A Figura 25 amplia essa análise e reúne diferentes atividades atingidas pela interrupção da produção e do consumo de produtos provenientes do Paraopeba, incluindo a horticultura, a apicultura, a extração de areia e a própria pesca, além das atividades que delas dependiam.

[626] Minas Gerais, 2019, p. 61.

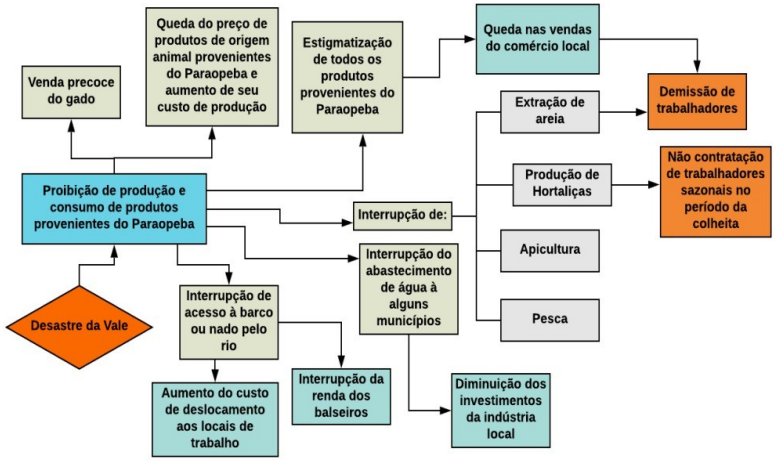


Figura 25 – Redes de atividades econômicas afetadas pela interrupção do uso do Rio Paraopeba.[627]

Nesse caso, a proibição da produção e do consumo de produtos provenientes do Paraopeba atingiu atividades como a pesca, a produção de hortaliças, a apicultura e a extração de areia. A interrupção do acesso ao rio também afetou balseiros e aumentou o custo de deslocamento até os locais de trabalho. Ao mesmo tempo, a estigmatização dos produtos provenientes do Paraopeba reduziu suas vendas e alcançou o comércio local. Os efeitos se estenderam, assim, para trabalhadores sazonais, comerciantes e outros agentes que não dependiam diretamente da mineração ou da pesca para obter sua renda.

Esses fluxos ajudam a distinguir duas dimensões relacionadas à apropriação da riqueza. A primeira diz respeito ao volume de valor produzido por uma atividade econômica; a segunda, à forma como os recursos gerados circulam entre as pessoas e atividades de um território. A mineração pode produzir valores elevados sem que parcela proporcional dessa riqueza permaneça no território onde é extraída. Atividades de menor es-

[627] Minas Gerais, 2019, p. 62.

cala, como a pesca, a agricultura e o pequeno comércio, produzem valores muito menores, mas podem desempenhar papel importante na manutenção das relações econômicas internas, pois parte da renda gerada circula entre diferentes trabalhadores e estabelecimentos da própria comunidade.

A diferença entre essas duas dinâmicas ajuda a compreender que a importância econômica de uma atividade não depende apenas do volume de riqueza que ela produz, mas também da forma como essa riqueza é apropriada e circula no território.

Essa diferença se torna especialmente importante quando se observa a inserção da mineração nas cadeias econômicas nacionais e internacionais. A dissociação entre o lugar onde o minério é extraído e os lugares onde ele é transformado e utilizado amplia a distância entre produção e apropriação da riqueza.

A mineração de ferro está hoje inserida em cadeias econômicas internacionais. O minério extraído em Minas Gerais é destinado, em grande parte, ao mercado externo, com países como a China entre os principais destinos, participando da produção de bens e infraestruturas em outros lugares, enquanto as comunidades próximas às áreas de extração permanecem submetidas aos impactos ambientais e sociais da atividade.

Cerca de 80% da produção mineral brasileira é destinada ao mercado externo, inserindo os territórios mineradores em cadeias econômicas internacionais nas quais o minério brasileiro participa da produção de bens de maior valor agregado fora do país.[628] No caso específico do minério de ferro, foram exportadas aproximadamente 353,3 milhões de toneladas em 2017, volume equivalente a cerca de 1,7 tonelada por habitante brasileiro.[629]

A exportação do minério bruto também significa que parte das etapas produtivas associadas à geração de maior valor e trabalho ocorre fora do território de extração. Enquanto a extração permanece concentrada nos municípios mineradores, atividades de processamento, metalurgia e fabricação de pro-

[628] Fernandes, Enríquez e Alamino, 2011.
[629] Brasil, 2018.

dutos derivados podem ocorrer em outros países. O território de extração fornece, assim, a matéria-prima, enquanto etapas posteriores da cadeia econômica e os trabalhos a elas associados permanecem distantes dele.

Essa configuração ajuda a compreender a assimetria entre produção, apropriação e permanência dos custos. O minério extraído localmente alimenta cadeias econômicas que envolvem mercados e empresas situados a grandes distâncias, enquanto os impactos ambientais e sociais permanecem territorialmente concentrados nas regiões de extração. A riqueza produzida no território, portanto, participa de uma economia muito mais ampla do que aquela que efetivamente permanece nele.

Tal relação assimétrica aparece de forma concreta em Antônio Pereira, distrito de Ouro Preto (MG) marcado pela presença histórica da mineração e por impactos que se prolongam no cotidiano da comunidade. Além dos efeitos associados ao rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, os moradores convivem com os impactos da atividade minerária no próprio distrito, incluindo as remoções relacionadas ao risco da Barragem Doutor, fortes impactos na qualidade do ar pela poeira de minério e restrições ao garimpo tradicional. É nesse contexto que moradores relatam que, apesar da "riqueza muito grande que sai daqui", a comunidade "não tem recurso nenhum", "não tem uma lotérica" e "não tem um banco".[630] Mesmo diante dos bilhões de dólares em minérios extraídos em seu entorno, permanecem problemas básicos de infraestrutura, como ruas sem pavimentação e ausência de saneamento adequado.

O contraste entre a magnitude da riqueza extraída e a precariedade das condições locais evidencia que a presença de grandes volumes de valor mineral não se traduz automaticamente em prosperidade para quem vive no território. A mineração pode, ao mesmo tempo, produzir riqueza extraordinária e manter comunidades em condições precárias.

A expressão "Vila Rica de povo pobre", originalmente associada a Ouro Preto e retomada pelas fontes para caracterizar

[630] Ladeira et al., 2023.

uma realidade que atravessa a história da mineração em Minas Gerais, sintetiza esse contraste.[631] A forma de apropriação da riqueza observada atualmente encontra um antecedente histórico no ciclo do ouro do século XVIII, quando parte significativa da riqueza extraída em Minas Gerais era apropriada fora da região, enquanto os custos e efeitos da exploração permaneciam entre as populações locais.

Embora separados por mais de dois séculos e por transformações profundas nas estruturas jurídicas, técnicas e econômicas da mineração, o ciclo do ouro do século XVIII e a mineração de ferro contemporânea apresentam uma aproximação relevante para esta análise. Em ambos os períodos, recursos extraídos em Minas Gerais foram incorporados a circuitos econômicos mais amplos, enquanto parte significativa da riqueza produzida pela exploração era apropriada fora das áreas de extração.

A relação entre produção e apropriação também se manifesta na distância entre os locais de extração e aqueles onde os produtos são utilizados. O minério extraído nessas regiões participa da produção de bens e infraestruturas utilizados por pessoas que vivem muito distante dos locais de extração. Ônibus, edifícios, automóveis, equipamentos eletrônicos e inúmeras outras estruturas presentes no cotidiano urbano dependem, direta ou indiretamente, de cadeias produtivas que começam na extração mineral.

A separação entre os lugares onde o minério é extraído e aqueles onde seus produtos são utilizados pode ocultar essa relação. Os benefícios associados ao uso dos produtos são distribuídos por cadeias econômicas amplas, enquanto determinados riscos ambientais e sociais permanecem concentrados nas regiões de extração. A exploração mineral envolve, assim, uma distribuição territorial desigual entre os benefícios associados ao minério e os riscos assumidos pelas comunidades que vivem próximas às áreas de extração.

---

631 Ladeira et al., 2023.

A necessidade de manter o fornecimento de minério em grandes volumes e a custos competitivos cria pressão para preservar a continuidade da operação. As fontes analisadas relacionam essa pressão à adoção de soluções de menor custo, inclusive em estruturas de disposição de rejeitos, e à redução de investimentos em segurança e recuperação ambiental em períodos de crise.[632] Essa relação entre pressão econômica e condições de segurança também aparece na percepção dos atingidos. Como sintetiza um dos entrevistados:

> Fica difícil lidar se eles só pensam em dinheiro, no lucro. A qualidade de vida não volta ao que era antes. Acho que não temos condição de ter uma vida digna.[633]

O problema, portanto, ultrapassa a simples exportação de uma *commodity*. Trata-se de uma forma de inserção econômica na qual o território permanece especializado na extração, enquanto parte significativa do valor, dos empregos associados às etapas posteriores e dos resultados financeiros da cadeia se realiza fora dele. Ao mesmo tempo, uma parcela relevante dos riscos e dos passivos permanece concentrada onde o minério é retirado.

A configuração atual da mineração pode ser compreendida, portanto, como uma circulação externa da riqueza acompanhada pela permanência local de parte significativa dos custos. O valor produzido percorre cadeias econômicas distantes; crateras, alterações ambientais, passivos sociais e mudanças na organização das comunidades permanecem próximos aos locais de extração. A riqueza extraída das montanhas pode, assim, financiar atividades econômicas distantes, enquanto no lugar da extração permanecem os "buracos", os passivos ambientais e as consequências sociais da exploração.

A situação torna-se ainda mais complexa quando se considera o efeito dos rompimentos sobre as economias que já apresentavam pouca diversificação. A interrupção da mineração

[632] Minas Gerais, 2021.
[633] Fraga et al., 2025, p. 123.

não atingiu apenas a empresa e seus trabalhadores diretamente vinculados. Ela alcançou relações econômicas organizadas ao redor do setor e, simultaneamente, atividades como agricultura, pesca, turismo e comércio, muitas das quais já haviam perdido espaço diante da concentração econômica produzida pela mineração.

A dependência não desapareceu com a interrupção da mineração. Dez anos depois, ela assumiu outra forma: em vez da mina em operação, parte da economia e da atuação institucional da região passou a depender do aparato de reparação constituído após o desastre. O fundo de R$ 20 bilhões previsto no Novo Acordo do Rio Doce tornou-se, ele próprio, uma nova fonte de recursos e de disputa institucional na região.[634]

Essa condição compromete o futuro da comunidade. A mineração é uma atividade finita, enquanto a dependência construída em torno dela pode permanecer mesmo quando a disponibilidade do minério diminui. As fontes sintetizam essa perspectiva pela ideia de que determinadas cidades teriam "nascido da mineração" e poderiam "morrer em função da mineração", transformando-se em cidades fantasmas quando o recurso se esgotar.[635] O problema da minerodependência, portanto, alcança o horizonte das próximas gerações. Quanto mais a economia, o trabalho e o poder público se organizam em torno da extração mineral, mais difícil se torna construir, durante o período de exploração, uma base econômica capaz de sustentar a vida depois dela.

A relação entre produção e apropriação da riqueza permite, por fim, compreender por que a mineração pode ocupar uma posição tão central na vida de uma comunidade mesmo quando parcela significativa da riqueza gerada não permanece nela. A atividade concentra recursos econômicos, empregos, arrecadação e infraestrutura, ao mesmo tempo em que integra o local de extração a cadeias produtivas que ultrapassam amplamente

---

634 Brasil, s.d.

635 Ladeira et al., 2023.

seus limites. A comunidade passa a depender de uma atividade cuja riqueza circula em grande escala para fora dela.

A riqueza, nesse contexto, participa da organização das demais relações comunitárias. Ela influencia a Autoridade porque condiciona a capacidade financeira do poder público e pode afetar suas decisões; interfere no Trabalho porque estrutura as oportunidades de emprego e as atividades que dele dependem; e alcança a Organização Social porque modifica as possibilidades de autonomia e participação da comunidade. A apropriação da riqueza não constitui, portanto, uma dimensão isolada da realidade. Ela ajuda a explicar por que a mineração podia ocupar uma posição tão central na vida dos municípios atingidos e por que essa centralidade podia permanecer mesmo depois dos rompimentos.

A questão central deste fator está, assim, na relação entre riqueza produzida, riqueza apropriada e riqueza que permanece circulando na comunidade. A mineração pode gerar valores extraordinários e, simultaneamente, apresentar baixa capacidade de retenção local desses valores. Atividades econômicas de menor escala podem produzir muito menos riqueza, mas sustentar redes internas de trabalho, consumo e troca que contribuem para a autonomia comunitária. A diferença entre essas formas de organização econômica ajuda a compreender que a viabilidade de uma comunidade depende também da maneira como a riqueza produzida em seu espaço é apropriada, distribuída e convertida em condições duradouras de reprodução da vida.

6.4.1.4 Organização Social

O quarto fator é a Organização Social, associado à modalidade social, e diz respeito à maneira como as pessoas estabelecem relações de convivência, constroem vínculos de confiança, participam de decisões coletivas e mantêm instituições e práticas comunitárias.

Nas comunidades atingidas, essa organização não se limitava às instituições formais. Ela se apoiava em relações construí-

das ao longo do tempo, em espaços de encontro, em atividades compartilhadas e em formas de ajuda mútua. Havia, portanto, uma organização comunitária própria, sustentada por vínculos de vizinhança, parentesco, confiança e pertencimento.

Essa organização social, contudo, não significava autogoverno sobre a atividade minerária. No que dizia respeito à operação das empresas e aos impactos produzidos sobre as comunidades, a participação dos moradores assumia predominantemente um caráter consultivo. A comunidade era chamada a reuniões, audiências e processos de consulta, mas possuía influência limitada sobre as decisões estratégicas que definiam a atividade. Existia, assim, uma organização comunitária forte no interior da vida social, ao mesmo tempo em que a capacidade de interferir nas decisões relativas à mineração permanecia restrita.

A força dessa organização aparece com clareza em Bento Rodrigues. O distrito possuía cerca de trezentos anos de história, e pertencer ao lugar constituía parte importante da identidade de seus moradores. A existência da comunidade dependia de relações construídas ao longo de gerações, que se manifestavam tanto nas relações familiares quanto nos espaços cotidianos de encontro.[636]

A história das famílias se confundia, em muitos casos, com a história do próprio lugar. Em Brumadinho, no Parque da Cachoeira, um dos moradores entrevistados descreveu sua casa como o espaço onde sua mãe criou onze filhos e onde a família desenvolveu atividades cotidianas e produtivas ao longo de gerações:

> Esta casa é centenária. Aqui, minha mãe ganhou seus 11 filhos. A gente brincava de descer morro de carrinho, tudo a gente mesmo que construía. Meu pai tirava leite da vaca aqui e, às 6h, tinha que estar em Brumadinho para o trem levar tudo para Belo Horizonte. Estamos como umbigo enterrado aqui. Sentimos muito ao ver o que era antes e o que veio depois. Quando abrir a janela

[636] Minas Gerais, 2019; 2021.

> da cozinha (que dá para onde ficava o Córrego do Feijão e onde está a lama hoje), vou ficar imaginando quem são as pessoas aí debaixo.[637]

Essa convivência também se manifestava em espaços de uso cotidiano. Uma proprietária de estabelecimento local relatou essa dimensão ao visitar o que restou do distrito após o rompimento. Ao lembrar o movimento que existia antes, afirmou: "Era maravilhoso o movimento antes. Sinto falta, aquela comunidade pequena, mas todo mundo reunido."[638]

O que aparece em seu relato é a perda de uma forma de convivência. O bar era também um lugar de encontro, e o movimento da comunidade fazia parte da própria experiência de habitar aquele lugar.

A perda dos vínculos aparece também em atividades que organizavam os encontros entre parentes, amigos e vizinhos.

> Tinha muita amizade antes. A gente se reunia para jogar baralho em casa. Comia peixe tudo junto. Era um prazer, um encontro de amigos, uma brincadeira tão gostosa. Os primos, os parentes, todos vinham. Acabou, não vêm mais. Vêm fazer o quê?[639]

Em Bento Rodrigues, as ruas de pedra eram lembradas como espaços seguros onde as crianças brincavam livremente de pique-esconde e andavam de bicicleta. No fim da tarde, era tradição que as mulheres estendessem tapetes nas calçadas para jogar baralho e conversar. Nascimentos, casamentos e lutos eram vividos pela comunidade como acontecimentos coletivos, com os moradores reunidos "em peso" e formando uma rede de apoio mútuo.[640]

O enfraquecimento das relações comunitárias também esteve associado à perda ou à transformação dos espaços que sustentavam a convivência cotidiana. O relatório final do Subpro-

---

637 Minas Gerais, 2019, p. 24.
638 Rezende, 2025.
639 Fraga et al., 2025, p. 93.
640 Jungle, 2016.

jeto nº 03[641], dedicado à caracterização e avaliação da população atingida, registra que, especialmente em Brumadinho, a supressão de vias e de espaços públicos, como campos de futebol, reduziu os lugares de encontro e contribuiu para o enfraquecimento dos laços comunitários. Em Córrego do Feijão, moradores relataram ainda a ocupação de espaços de convivência por estruturas utilizadas nas operações de resgate, produzindo uma sensação de "invasão" por agentes externos. A transformação desses espaços e a experiência associada ao desastre fizeram com que alguns moradores passassem a evitar os espaços públicos e coletivos da comunidade.

Esses relatos mostram que a Organização Social depende também de condições concretas de convivência. Espaços de encontro, circulação, recreação e uso cotidiano sustentam relações de vizinhança, pertencimento e reconhecimento mútuo. Quando esses espaços são suprimidos ou deixam de ser utilizados, parte das condições materiais que sustentam a organização comunitária também se perde.

Essas relações também eram preservadas por objetos que materializavam a memória das famílias. Fotografias, álbuns de casamento e registros dos primeiros momentos dos filhos constituíam referências materiais de uma história construída ao longo de gerações.[642] Quando esses objetos foram levados pela lama, desapareceram também parte dos suportes que ligavam o presente dos moradores à sua própria história. A destruição atingiu, portanto, não apenas os bens materiais das famílias, mas também elementos que davam continuidade à sua memória.

A organização social também se reproduzia por meio de atividades realizadas coletivamente. O mutirão é um exemplo particularmente claro dessa dinâmica. Um dos relatos descreve a dinâmica dos mutirões realizados entre os moradores, nos quais o trabalho em uma propriedade era retribuído posteriormente pelo grupo nas propriedades dos demais participantes:

---

641 Cavalcante, 2023.

642 TV Assembleia, 2016.

> Nascemos na roça e a vida sempre foi isso mesmo. Os pais que ensinaram e fomos crescendo, construindo família, e ensinando para os garotos. Era muito bom, mas agora não dá pra ensinar mais pros garotos, não temos mais a área onde a gente passava essa cultura. O mutirão coletivo – a gente faz os trabalhos nos lotes dos companheiros e depois vamos fazer no lote do outro companheiro que participou – não tem mais, essa dinâmica na beira do rio. E nesses momentos a gente não troca só a mão de obra, a gente troca os conhecimentos, as técnicas tradicionais.[643]

O mutirão reunia duas dimensões da organização social. Havia a cooperação necessária para realizar o trabalho e, simultaneamente, a transmissão de conhecimentos e técnicas entre os participantes. A atividade coletiva funcionava como espaço de reprodução de práticas sociais, pois os mais velhos ensinavam aos mais jovens enquanto os moradores cooperavam entre si. A perda da área onde essas atividades eram realizadas interrompeu essa dinâmica e atingiu também a transmissão de conhecimentos entre gerações.

A ajuda mútua também podia funcionar como recurso diante de situações de emergência. Nas primeiras horas do rompimento, vínculos de solidariedade foram mobilizados para proteger outras pessoas. Jefferson dirigiu-se à região onde acreditava estar sua irmã Jussara e, durante a busca, ouviu os pedidos de socorro de Alessandra e Talita, que estavam afundando na lama. Ele conseguiu retirá-las da área atingida.[644] O episódio mostra que a organização social construída no cotidiano também podia produzir respostas concretas diante de situações de crise.

A relação com o rio também participava dessa organização. Nas comunidades atingidas pelo rompimento da Barragem de Fundão, ao longo da bacia do Rio Doce, rios e cursos d'água funcionavam como espaços de encontro, pesca, lazer e trans-

[643] Fraga et al., 2025, p. 98.
[644] TV Brasil, 2019.

missão de conhecimentos. A pesca no Rio Doce, por exemplo, envolvia pessoas de diferentes gerações e dependia de relações de confiança e cooperação construídas ao longo do tempo. Uma pescadora entrevistada por pesquisadores do GESTA/UFMG descreveu sua relação com o rio como parte de sua própria história familiar, lembrando que havia nascido e crescido às suas margens e aprendido a pescar em uma tradição recebida de seu pai.[645]

Nesse caso, a continuidade da atividade dependia não apenas da existência do peixe ou do acesso ao rio, mas de uma rede de relações que ligava família, trabalho, território e memória. Um relatório de campo realizado em São Joaquim de Bicas registrou o depoimento de um jovem que associava diretamente a pesca à interação social.

> Um jovem disse que antes saía para pescar e conversar com os amigos. A pesca, além de lazer era também uma oportunidade de interação e convivência entre eles […]. O rio também era ponto de encontro dos homens adultos no fim de semana. Eles pescavam, faziam churrasco às margens do rio e ficavam conversando. Após o rompimento quase não estariam convivendo mais.[646]

O rio funcionava, portanto, como espaço de trabalho e lazer, mas também como lugar de encontro e convivência entre diferentes grupos da comunidade.

Essa função comunitária aparecia igualmente nas práticas religiosas. Uma entrevistada relata que os batismos evangélicos reuniam pessoas vindas de diferentes lugares e que os encontros das igrejas nas praias do rio combinavam culto, convivência e lazer:

> Os batismos evangélicos eram no rio Doce. Vinha ônibus, até de longe, para ir lá fazer o batismo. Esses passaram a ser nas piscinas dos fundos das casas e igrejas, porque o rio não existe mais. O rio, próximo do rio San-

[645] Milanez e Losekann, 2017.
[646] Minas Gerais, 2019, p. 42.

> to Antônio, tem as praias, e as igrejas faziam tipo um encontro, passando a noite na beira do rio pra um passeio. Era um encontro pros evangélicos, que hoje não pode mais porque não tem como ficar na beira do rio, pisar na areia, pisar naquela lama. As pessoas levavam caixa de som, era tipo uma festa. Então acabou mesmo com o nosso rio, acabou com tudo, com a cidade.[647]

A mesma função comunitária do rio aparece nas práticas da Igreja Católica. A realização de piqueniques, encontros e até casamentos às suas margens revela que o espaço também integrava as atividades coletivas da comunidade:

> A igreja católica fazia piquenique, ainda mais quando era Dia das Crianças, assim, debaixo de uma gameleira. Eu já fui em casamento na praia, na beira do rio aqui.[648]

A perda do rio significou, assim, a perda de lugares nos quais relações comunitárias eram produzidas e mantidas. A substituição dos batismos por piscinas e o desaparecimento dos encontros nas praias mostram como a alteração ambiental atingiu práticas que dependiam do contato direto com o rio.
Essa transformação foi percebida também como uma mudança cultural mais ampla:

> Quando eu digo que a nossa relação com o rio Doce mudou, é, por exemplo, que tivemos que aprender a criar peixe em cativeiro. A cultura da gente mudou nisso. Tenho o sentimento que o desastre alterou nossos modos culturais. O nosso povo não tem a mesma motivação para estar em nossa região e comunidade de origem. Os que estão fora não têm a mesma motivação para voltar, parece que tudo ficou muito diferente… O sentimento é que não tem o mesmo nível de animação com a vida. Afetou, assim, o nosso espírito cultural.[649]

---

[647] Fraga et al., 2025, p. 94.
[648] Ibidem.
[649] Fraga et al., 2025, p. 91.

A alteração ambiental alcançou, desse modo, práticas, costumes e vínculos que dependiam do contato cotidiano com o rio. A perda não se restringiu à possibilidade de utilizar suas águas ou realizar atividades econômicas. Ela atingiu também os espaços e práticas nos quais as relações sociais eram reproduzidas.

Os efeitos dessa ruptura também aparecem em situações nas quais as pessoas permaneceram próximas dos lugares onde viviam antes do rompimento. Em Pequi, a desagregação das relações comunitárias aparece de forma particularmente concreta no relato de um morador encaminhado ao Ministério Público. Seu relato descreve a interrupção de relações que faziam parte de sua vida cotidiana. Antes do rompimento, os vizinhos frequentavam sua casa nos fins de semana, os amigos iam ao local para pescar e o córrego era utilizado para diversas necessidades da vida diária. Depois, essas relações desapareceram. Em carta endereçada ao MPMG, o morador escreveu:

> Sou o único morador desse arraial. Meus vizinhos vinham passear todos os fins de semana, não vem mais. Nos fundos do meu lote tem um córrego que era limpinho onde usava água para tudo. Cozinhar, lavar roupas, banhar e até beber também perdi. Os meus amigos que vinham passeando para pescaria não vem mais. Investi o que tinha na casa por causa do rio que perdeu muito valor. Quero uma indenização de tudo isso para ir embora daqui. Estou ficando doente.[650]

O relato mostra que a desestruturação social não depende necessariamente da remoção física das pessoas. É possível permanecer no lugar e, ainda assim, perder as relações que faziam dele uma comunidade. As visitas, as pescarias, o uso compartilhado da água e os encontros cotidianos formavam uma rede de relações que sustentava a permanência dos moradores. Quando essas relações foram interrompidas, permanecer signi-

[650] Minas Gerais, 2019, p. 42.

ficava viver em um lugar que já não oferecia as mesmas condições de convivência.

Em Brumadinho, essa ruptura também atingiu a identidade de familiares dos trabalhadores mortos. Uma moradora entrevistada descreveu a perda como uma ruptura da própria identidade. Ao falar sobre a morte do marido, trabalhador da Vale, afirmou que "a gente perdeu até a identidade".[651] A afirmação revela uma transformação que ultrapassa a perda individual. A tragédia passou a redefinir a maneira pela qual aquelas pessoas eram reconhecidas socialmente, vinculando suas identidades à condição de atingidos ou familiares de trabalhadores mortos.

Os desastres também produziram formas de desestruturação que ultrapassaram os locais diretamente atingidos pelos rejeitos. A tragédia inaugurou no Estado o terror de viver sob o que os moradores chamam de 'lama invisível': o risco iminente de outras barragens também ruírem.[652] Esse medo também atingiu locais que não haviam sido fisicamente alcançados pelos rejeitos. O risco percebido de novos rompimentos contribuiu para o esvaziamento de comunidades e para a remoção de moradores, afetando os vínculos de convivência mesmo onde a lama não havia chegado. Populações de rotas como Furquim e Paracatu de Baixo, por exemplo, viram-se isoladas e esvaziadas pelo perigo. [653]

> Quando é o próximo rompimento? Quando vai acontecer? Então essa expectativa negativa está interiorizada em muitos de nós.[654]

A ruptura dos vínculos comunitários também pode ser compreendida em uma dimensão mais profunda, na qual a própria relação entre comunidade e lugar constitui parte da identidade coletiva. Para o povo *Krenak*, uma das comunidades indígenas da bacia do Rio Doce, o rio possui uma relação de parentesco

---

[651] Minas Gerais, 2021, p. 101.
[652] Minas Gerais, 2019; 2021.
[653] Ladeira et al., 2023; TV Assembleia, 2016.
[654] Fraga et al., 2025, p. 120.

com a comunidade, sendo referido como *Uatu*, o parente mais antigo.[655] A contaminação do rio, nesse contexto, não pode ser compreendida apenas como dano ambiental ou perda de um recurso econômico. Ela atinge uma relação constitutiva da própria vida coletiva, pois o rio participa da memória, da identidade e das práticas por meio das quais a comunidade se reconhece como tal.

Os casos analisados permitem distinguir duas dimensões que coexistiam antes dos rompimentos. De um lado, havia comunidades com relações sociais densas, capazes de sustentar formas próprias de convivência, cooperação e pertencimento. De outro, essa organização não se traduzia em autogoverno sobre a atividade minerária. A participação dos moradores nas decisões relativas à mineração permanecia predominantemente consultiva. O desastre modificou essa configuração ao atingir justamente as relações que davam sustentação à organização comunitária.

A ruptura desses vínculos também reduziu a capacidade de ação coletiva que existia antes do desastre. Uma comunidade com relações internas fortes possui maiores condições de formular reivindicações comuns, acompanhar decisões que afetam sua vida e construir respostas diante de situações de conflito. Essa capacidade de organização já coexistia, antes dos rompimentos, com uma participação limitada nas decisões relativas à mineração. Com a desestruturação dos vínculos comunitários, enfraqueceu-se também a capacidade dos moradores de agir coletivamente diante dos problemas que passaram a enfrentar. Nesse contexto, os moradores passam a depender mais de empresas, órgãos públicos, instituições de reparação e outras estruturas externas para encaminhar questões que antes podiam ser enfrentadas por meio das próprias relações comunitárias.

Essa transformação mostra que a organização social não depende apenas da permanência física das pessoas em determinado lugar. Ela depende da continuidade das relações que articu-

[655] Milanez e Losekann, 2017.

lam a vida comunitária. Uma comunidade pode continuar parcialmente ocupada e, ainda assim, perder parte de sua capacidade de funcionar como sujeito coletivo quando os espaços de encontro desaparecem, as práticas compartilhadas são interrompidas e os vínculos de confiança são enfraquecidos. O desastre pode, portanto, preservar parte da ocupação física de uma comunidade enquanto desestrutura as relações que lhe davam capacidade de organização e ação coletiva.

O reassentamento dos moradores de Bento Rodrigues permite observar essa dificuldade de forma concreta. As novas casas foram entregues com estruturas físicas modernas, destinadas às famílias atingidas, mas os próprios moradores relataram a ausência de elementos que faziam do antigo povoado uma comunidade. Os vínculos de vizinhança haviam sido interrompidos, práticas cotidianas haviam desaparecido e até atividades simples, como cultivar uma horta no quintal, encontravam novas dificuldades relacionadas às condições do reassentamento.[656]

A reconstrução física do território, portanto, pode avançar enquanto a reconstrução da vida comunitária permanece incompleta. Alguns idosos morreram durante os anos de espera pelo reassentamento. As famílias receberam novas paredes e novas estruturas, mas a comunidade formada por relações de vizinhança, memória e práticas compartilhadas não podia ser simplesmente transportada para o novo lugar.

A experiência de Bento Rodrigues ajuda a compreender que a Organização Social possui uma dimensão espacial e temporal. Ela se constrói nos lugares onde as pessoas convivem, trabalham, celebram, ajudam umas às outras e transmitem conhecimentos. Quando esses lugares são destruídos ou deixam de oferecer condições para essas práticas, a própria reprodução das relações comunitárias é afetada.

O desastre, portanto, não destruiu apenas casas, propriedades e fontes de renda. Desfez também parte das relações que sustentavam a comunidade como sujeito coletivo. A perda da

[656] Soares e Bonduki, 2024; Parreiras et al., 2019.

Organização Social aparece na passagem de comunidades com fortes vínculos de vizinhança, cooperação e pertencimento para uma situação na qual muitos atingidos precisam reconstruir suas relações sociais em condições diferentes das que existiam antes dos rompimentos. A reconstrução das estruturas físicas pode restabelecer moradias e equipamentos, mas a reconstrução da comunidade depende da retomada das relações que lhe davam existência.

6.4.1.5 Relação Ecológica

O quinto fator é a Relação Ecológica, associado à modalidade biótica. Esse fator diz respeito ao ambiente em que a comunidade estava inserida e às formas como os diferentes sujeitos que dele participavam — moradores, mineradoras e outros agentes — se relacionavam com esse ambiente, envolvendo seu uso, cuidado, preservação, exploração e transformação.

Nas comunidades atingidas, o ambiente não constituía apenas o espaço físico onde as pessoas viviam. Água, solo, fauna, flora e paisagem estavam integrados às formas de trabalho, alimentação, lazer, convivência e permanência construídas ao longo do tempo. Alterações nesses elementos, portanto, atingiam dimensões diversas da vida comunitária, modificando práticas cotidianas e relações estabelecidas com o lugar.

As condições ecológicas das ilhas do Rio Doce ajudam a caracterizar o ambiente em que se desenvolvia a vida dos moradores. Um dos depoimentos descreve essa relação nos seguintes termos:

> A nossa ilha era uma ilha viva… Gostosa de viver, de estar. A fauna, a flora, a beleza. Eu falo que morar na ilha era um privilégio! Realmente é referência para a cidade, é referência para a região.[657]

Outro morador descreve de maneira mais concreta as condições existentes antes do desastre:

---

[657] Fraga et al., 2025, p. 52.

> A nossa vida era totalmente diferente: água limpa, pescávamos muito peixe para comer, a gente tinha plantação… Cem por cento em plantação, em qualidade de vida, em tranquilidade, em sossego, em saúde. Tudo nosso era totalmente diferente! Depois que veio isso tudo foi por água abaixo…[658]

Os relatos permitem caracterizar um ambiente marcado pela disponibilidade de água, pela presença de peixes, pela possibilidade de cultivo e pela diversidade de fauna e flora. Essas condições sustentavam atividades essenciais à vida cotidiana e conferiam características próprias ao lugar, inclusive na identidade de "ser ilheiro"[659]. A relação ecológica, nesse contexto, fazia parte das próprias condições de existência da comunidade.

Na mineração convencional, essa relação tende a se organizar em torno de uma lógica diferente. O ambiente aparece principalmente como fonte de recursos necessários à produção e como espaço no qual os efeitos da atividade precisam ser controlados. A relação pode ser sintetizada em dois movimentos: exploração e mitigação. Primeiro, os recursos naturais são incorporados ao processo produtivo; depois, os danos decorrentes da exploração são administrados por meio de medidas destinadas a reduzir, controlar ou compensar seus efeitos. Nessa configuração, o ambiente é tratado predominantemente em função de sua utilidade para a atividade econômica ou dos impactos que essa atividade produz.

A relação entre mineração e condições ecológicas envolve também a utilização de recursos necessários à continuidade de outras formas de vida e de produção. A mineração utiliza grandes volumes de água em diferentes etapas do processo produtivo, inclusive no beneficiamento e no transporte do minério. Em determinadas operações, o acesso ao minério exige o rebaixamento do lençol freático, com consequências sobre nascentes e aquíferos. A redução da disponibilidade hídrica pode

[658] Ibidem.
[659] Ibidem.

atingir diretamente atividades como a agricultura e outras formas de produção dependentes das águas subterrâneas e superficiais.

O problema ultrapassa o período de funcionamento da mina. Quando o minério se esgota e a empresa deixa de operar, as condições ecológicas utilizadas durante a exploração podem permanecer degradadas. A atividade extrativa pode, dessa forma, comprometer recursos necessários a outras formas de produção no futuro. A mineração retira do local o recurso mineral e pode comprometer, simultaneamente, parte das condições ecológicas necessárias à reprodução futura da própria comunidade.

O Quadro 6, analisado anteriormente, mostra que essa relação já era percebida pelos próprios moradores de Bento Rodrigues antes do desastre. A comunidade não desconhecia, portanto, os problemas associados à atividade minerária. Entre os riscos percebidos, a poluição das águas foi mencionada por 94% dos entrevistados, enquanto 68% apontaram o rompimento de barragens.[660] A percepção desses problemas mostra que a alteração das condições ambientais já fazia parte da experiência cotidiana da comunidade, ainda que sua gravidade futura não pudesse ser plenamente antecipada.

Em novembro de 2015, aquilo que aparecia como uma possibilidade reconhecida no cotidiano tornou-se uma ruptura de grandes proporções. O rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, lançou cerca de 45 milhões de metros cúbicos de rejeitos no sistema hídrico, atingindo os rios Gualaxo do Norte, do Carmo e Doce ao longo de aproximadamente 663 quilômetros até sua foz no Espírito Santo. Dezenove pessoas morreram, mais de 600 ficaram desabrigadas e cerca de 1,2 milhão de pessoas tiveram o acesso regular à água potável interrompido. Em Brumadinho, o rompimento da Barragem B1, da mina Córrego do Feijão, matou 272 pessoas e atingiu o Rio Paraopeba.

Os números dimensionam a extensão dos desastres, mas a

[660] Viana, 2012, p. 215.

alteração da relação ecológica pode ser percebida também na experiência daqueles que conheciam os rios e os ambientes atingidos antes dos rompimentos. Nas primeiras horas do desastre, moradores já observavam a morte de animais e a transformação das condições ambientais.

> O rejeito desceu passando, atingindo, matando os animais, matando os peixes que são aqui da região. No dia que teve o acidente, que a lama chegou no rio, teve aquelas capivaras bitelas mortas no rio Doce, os peixes grandes indo embora por água abaixo, tatus foram sufocados, tanto beirando o rio Sacramento quanto o rio Doce. Foi praticamente no mesmo dia que a lama chegou, questão de horas. Muitos dias a gente sofreu com o forte odor da lama na comunidade da Firma Araújo (MG),muito lixo aumentou, peixes mortos tinha bastante.[661]

A transformação do ambiente também foi percebida no próprio rio. Um dos depoimentos resume a mudança observada pela população em uma frase curta: “Eu vi o rio nascer, eu vi o rio morrer.”[662] A expressão sintetiza uma transformação que ultrapassou a aparência da água e atingiu as condições ecológicas que estruturavam diferentes formas de vida ao redor do rio.

Os moradores também perceberam mudanças na composição da fauna. Algumas espécies antes comuns deixaram de ser observadas, enquanto outras passaram a aparecer ou se multiplicar em ambientes onde anteriormente não eram frequentes. Um dos relatos descreve o desaparecimento de mamíferos, anfíbios, peixes e aves:

> Capivara, tatu, quati, tamanduá, jaguatirica... não existem mais. Sapo boi sumiu, rã sumiu. Os urubus tomavam banho aqui, vinham no verão,agora não tem mais. Caçari também não dá mais. Curvina também sumiu. Sem falar também nos bichos que os peixes alimentavam, esses anfíbios sumiram todos do rio. Sem falar nas

[661] Fraga et al., 2025, p. 23.
[662] Fraga et al., 2025.

> aves que sumiram todas, as garças rosas que vinham comer marisco...[663]

Outro depoimento descreve o fenômeno inverso, relacionado à proliferação de espécies que antes não faziam parte daquela realidade cotidiana:

> Na beira do rio aumentou também os pernilongos. Caramujo no rio virou praga aqui. É muito mesmo, não é pouco não… Isso não tinha antes do desastre! É caramujo puro, ele atrapalha quando você coloca a bomba para puxar água no rio, ele entope os aspersores, atrapalha no trabalho. Muito caramujo![664]

Essas percepções encontram correspondência nos estudos do Instituto Lactec citados no próprio material, que identificaram alterações nas populações animais, perda e fragmentação de habitats e mudanças nas comunidades ecológicas, com efeitos sobre a cadeia alimentar.[665] A alteração, portanto, não se restringiu a espécies isoladas. Ela alcançou relações entre diferentes organismos e modificou a própria estrutura dos ambientes atingidos.

Essas transformações também se expressaram na paisagem, tornando perceptíveis, na experiência cotidiana dos moradores, mudanças no ambiente com o qual mantinham relações construídas ao longo do tempo. A paisagem, nesse sentido, constituía uma dimensão concreta da relação dos moradores com o ambiente. Sua transformação alterou referências presentes na vida cotidiana e em projetos de vida construídos naquele espaço. Uma das pessoas atingidas resumiu essa perda nos seguintes termos:

> Perda da beleza, era muito lindo! Perda do sonho da gente envelhecer e ir para beira do rio, usufruir das riquezas de um rio… Hoje perdemos o nosso Doce. O que me encantou aqui foi a paisagem, o rio, a qualidade

663 Fraga et al., 2025, p. 52.
664 Fraga et al., 2025, p. 51.
665 Ibidem.

> de vida que se tem na beira de um rio, o sonho de envelhecer aqui, sair de uma cidade agitada e usufruir da riqueza do rio.[666]

A dimensão dessa transformação aparece ainda mais claramente no testemunho de um morador que relaciona a morte do rio à perda da própria história do lugar:

> Não posso ir mais [ao rio]. É uma sensação de morte ver o rio assim. Tudo que estava lá acabou. Até sapo acabou. Árvore, plantas medicinais. Essa lama arrancou árvores de duzentos anos! Uma coisa assustadora. Uma tristeza muito grande. Você ver a natureza, esse rio secular, um bem da humanidade, de todo mundo que mora perto do rio. Nossa história ficou manchada! É a mesma coisa de olhar para o rio e ver ele dentro do caixão.[667]

A contaminação dos rios também precisa ser compreendida a partir dos significados que diferentes comunidades atribuem à sua relação com a água. Para os povos indígenas atingidos, o rio ultrapassa a condição de recurso hídrico utilizado para abastecimento ou produção. Nos relatos das lideranças, aparece como parente, ancestral e elemento constitutivo da própria identidade comunitária.[668]

Nesse contexto, a contaminação não representa apenas a alteração das propriedades físicas da água, ou os impactos para a fauna e flora local. A imagem do rio assassinado expressa a ruptura de uma relação de parentesco e de uma história compartilhada entre comunidade, território e meio-ambiente. O dano ecológico assume, assim, simultaneamente dimensões sociais, culturais e históricas.

A alteração das condições ecológicas alcançou também a vida humana. As pessoas fazem parte do ambiente e, por isso, a perda de vidas provocada pelos rompimentos constitui também

---

666 Fraga et al., 2025, p. 49.
667 Fraga et al., 2025, p. 50.
668 Milanez e Losekann, 2017.

uma alteração ecológica de grande magnitude. Assim como a morte de peixes, mamíferos e aves modificou as comunidades ecológicas atingidas, a morte de pessoas alterou de forma irreversível as relações que faziam parte desses ambientes. Essa dimensão da perda aparece nos relatos das famílias que enfrentaram o desaparecimento e a morte de seus parentes.

Antes de se tornarem estatística, essas mortes produziram um sofrimento específico, documentado com detalhe pela força-tarefa do Ministério Público de Minas Gerais. Dezenas de famílias enfrentaram o que os próprios relatórios denominam "o luto que não chega"[669], marcado pela espera, durante semanas ou meses, pela localização dos corpos ou de seus fragmentos. Uma das atingidas relatou: "foram 80 dias de um velório sem corpo […] Ele foi encontrado no dia 13/04/19, ele não né… os pedacinhos dele".[670] Outro familiar, ao falar do filho de 23 anos, afirmou: "[eu] esperava ver ele inteiro, mas cheguei lá e vi um embrulho pequeno, um pacote".[671] Entre os sobreviventes, uma adolescente de 15 anos foi resgatada com a bacia e o fêmur quebrados; outra sobrevivente descreveu a força da lama como "estar dentro de um liquidificador gigante, sendo esmagada por pedra, pau, ônibus, veículo, porta, tudo que estava vindo para baixo".[672]

No contexto do desastre de Mariana, em Bento Rodrigues, um fotógrafo descreveu ter encontrado um morador em meio à lama, orando de braços abertos enquanto as equipes de resgate procuravam o corpo de seu filho, de 17 anos.[673] Em outro relato, na tragédia de Brumadinho, um pai afirmava que naquele momento não estava interessado em indenização, pedia apenas que o corpo do filho fosse encontrado para que pudesse realizar um enterro digno.[674] A localização dos corpos e a possibilidade de realizar os ritos funerários apareciam, para essas famí-

669 Minas Gerais, 2019.
670 Minas Gerais, 2019, p. 20.
671 Minas Gerais, 2019, p. 21.
672 Minas Gerais, 2019, p. 23.
673 TV Assembleia, 2016.
674 TV Brasil, 2019.

lias, como necessidades imediatas diante da morte e do desaparecimento.

A lógica de mitigação tende a encontrar dificuldade justamente diante dessas dimensões que não podem ser traduzidas integralmente em parâmetros físicos ou financeiros. Determinados riscos podem ser mensurados por concentrações de substâncias, volumes de rejeitos, áreas atingidas ou número de espécies afetadas. Esses indicadores são importantes para dimensionar os danos, mas não esgotam a experiência produzida quando um rio, uma paisagem ou um ambiente que sustentava a vida cotidiana deixa de oferecer as mesmas condições de existência.

O relatório Opção pelo risco: causas e consequências da tragédia de Brumadinho, elaborado pela Comissão Parlamentar de Inquérito da Assembleia Legislativa de Minas Gerais, também registra consequências que ultrapassam as mortes diretamente contabilizadas no desastre:

> Os órfãos da tragédia de Brumadinho são muitos. Mais que as 105 crianças que perderam pai, mãe ou ambos […] São órfãos da Vale S.A. os que trazem sequelas das tragédias em seu corpo e seu espírito e, mesmo assim, não são reconhecidos como vítimas.[675]

O depoimento registrado pela CPI evidencia, assim, que as consequências dos rompimentos não podem ser compreendidas apenas a partir dos danos ambientais diretamente mensurados ou das perdas imediatamente contabilizadas. A destruição de vidas, a ruptura de vínculos e a permanência de sequelas também fazem parte da alteração produzida sobre as condições de vida existentes nos ambientes atingidos. A Relação Ecológica, nesse sentido, abrange as condições que permitem a coexistência e a continuidade das diferentes formas de vida que compõem a realidade comunitária.

Para a viabilidade da comunidade, o ponto central está na preservação dessas condições ao longo do tempo. Água, solo,

[675] Minas Gerais, 2021, p. 97.

fauna, flora, paisagem e as próprias pessoas participam de uma realidade ecológica cujas relações sustentam a vida comunitária. Quando sua exploração ou transformação rompe de modo profundo essas relações, o efeito ultrapassa o ambiente imediatamente atingido e compromete a capacidade da comunidade de permanecer e reproduzir seu modo de vida.

6.4.2 Os Vínculos entre os Fatores

A análise dos cinco fatores mostrou como Autoridade, Trabalho, Apropriação da Riqueza, Organização Social e Relação Ecológica estavam configurados nas comunidades afetadas pelos desastres de Mariana e Brumadinho antes dos rompimentos e como cada um deles foi posteriormente afetado pelos desastres. Considerados isoladamente, porém, os fatores oferecem uma visão fragmentada da vida comunitária. A perspectiva sistêmica exige que se examine também como esses fatores se articulam, de modo que uma alteração em determinado fator pode repercutir sobre os demais. É nessa articulação que se torna possível compreender a vida das comunidades afetadas como um conjunto de relações entre diferentes aspectos.

Os dados e relatos reunidos permitem identificar sete relações entre os fatores analisados.[676] Essas relações são compreendidas como relações de influência, nas quais alterações em um fator podem repercutir sobre outros, contribuindo para a manutenção e o reforço de determinadas configurações ao longo do tempo. A Figura 26 apresenta essas relações no modelo sistêmico multimodal adotado neste capítulo, construído a partir da análise dos dados e dos relatos das pessoas afetadas pelos desastres, que evidenciaram como esses fatores se relacionavam em suas experiências.

[676] As relações representadas no modelo correspondem às relações analíticas identificadas na documentação examinada; não constituem, por si mesmas, demonstrações causais experimentais.

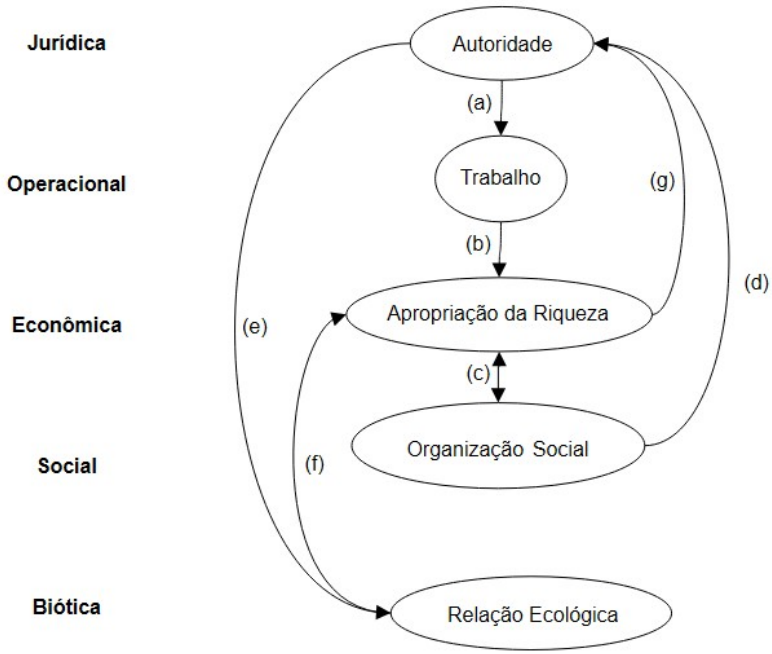


Figura 26 – Modelo Sistêmico Multimodal da mineração convencional e seus ciclos de reforço mútuo.

As letras de (a) a (g) identificam os vínculos examinados nas subseções seguintes. Em conjunto, eles formam uma rede de relações na qual uma autoridade concentrada favorece determinada organização do trabalho (a); essa organização participa da produção de riqueza (b), cuja apropriação ocorre de forma concentrada; essa forma de apropriação interfere na organização social (c), limitando sua capacidade de influenciar as decisões (d), e também repercute no exercício da autoridade (g). Ao mesmo tempo, as decisões tomadas a partir dessa estrutura de autoridade produzem efeitos sobre as condições ecológicas (e), que interferem nas possibilidades de diversificação econômica e dependência da mineração (f). Desse modo, os fatores se articulam em uma sequência na qual os efeitos produ-

zidos em um deles repercutem sobre os demais, contribuindo para manter ou transformar a configuração existente. Essa articulação confere ao conjunto seu caráter sistêmico.

6.4.2.1 (a) Autoridade → Trabalho

A autoridade interfere no trabalho porque define as condições em que determinadas atividades podem ser realizadas e os critérios segundo os quais elas são reconhecidas. Essa influência não se restringe à organização interna da produção minerária. A expansão da mineração pode reconfigurar os meios de vida locais ao alterar as condições das quais dependem atividades tradicionais e, simultaneamente, ampliar a oferta de vagas de emprego no setor minerário.[677] À medida que o trabalho minerário se expande, os jovens podem deixar atividades tradicionalmente exercidas por suas famílias para buscar emprego nas empresas de mineração. Com os rompimentos das barragens em Mariana e Brumadinho, essa transformação alcança seu ponto mais extremo, quando as próprias condições necessárias à realização de atividades como a pesca e a extração artesanal do ouro são destruídas.

Na mineração convencional, entendida aqui como a mineração empresarial de grande escala, característica da exploração de minério de ferro no Brasil e presente nos casos estudados em Minas Gerais, essa relação aparece primeiro na própria organização da produção. A autoridade concentrada na empresa estabelece como o trabalho será dividido, quais conhecimentos serão utilizados, quais equipamentos estarão disponíveis e quais funções serão necessárias à operação. Ao mesmo tempo, a expansão dessa estrutura produtiva altera o espaço ocupado por outras formas de trabalho, afetando sua continuidade e sua transmissão entre gerações. A continuidade da pesca, por exemplo, era associada à própria trajetória familiar, em uma tradição na qual o conhecimento e a atividade eram transmitidos dos pais aos filhos:

---

[677] Brain, 2017; Bacelar e Castro, 2016.

> Nossa tradição era que o filho de pescador seria pescador. Mas a juventude tem que sair daqui para procurar trabalho. Essa indenização não supre nada.[678]

O relato evidencia que a perda das condições de permanência no território produziu uma ruptura que alcançou as gerações mais jovens. A saída dos jovens em busca de emprego interrompe a continuidade de uma atividade que anteriormente fazia parte da reprodução familiar e comunitária.

A transmissão intergeracional também ocorria em práticas cotidianas que articulavam aprendizagem, convivência e uso do rio. Um dos relatos recorda o aprendizado da navegação e da natação com o pai e, ao mesmo tempo, as atividades realizadas pelas mulheres às margens do rio:

> Eu aprendi a remar canoa com meu pai. Ele me deu remo. E nós aprendemos nadar no rio. Muitas mulheres aqui iam quarar a roupa no rio, iam bater papo, era tradicional.[679]

O rio aparece, nesse relato, como espaço de aprendizagem e convivência cotidiana. O conhecimento sobre a canoa e a natação era transmitido dentro da família, enquanto atividades como lavar roupas e conversar reuniam as mulheres em torno de uma prática de trabalho compartilhada. A relação com o rio articulava, assim, diferentes gerações e diferentes formas de participação na vida comunitária.

O rompimento tornou essa continuidade mais difícil. Com a perda das condições de acesso ao rio e de realização das atividades que nele se desenvolviam, os moradores passaram a perceber que conhecimentos e ofícios antes transmitidos aos filhos já não poderiam ser ensinados da mesma maneira:

> A tradição de ensinar o filho a nadar acabou. Meu filho mesmo não sabe nadar até hoje. Perda do ensino da natação e pesca. A cultura dos mais velhos, de tecer, vá-

[678] Fraga et al., 2025, p. 98.
[679] Ibidem.

> rias culturas que não vai dar mais pra passar. Essa quebra da cultura, da tradição dos idosos.[680]

> Não pode mais ensinar tirar o ouro. Os filhos tiravam o ouro. A minha aliança, o ouro, eu que tirei.[681]

A perda do rio produziu, desse modo, uma ruptura na transmissão intergeracional de práticas e conhecimentos. O que estava em jogo era a continuidade de um modo de vida no qual aprender a pescar, remar, nadar, trabalhar em mutirão e participar das atividades realizadas às margens do rio fazia parte da formação dos mais jovens. Quando essas práticas deixam de ser realizadas, também se interrompe uma das formas pelas quais a comunidade reproduzia seus conhecimentos e sua própria organização de trabalho.

Os dados apresentados anteriormente sobre Bento Rodrigues mostram que a mineração ocupava uma posição importante na trajetória profissional dos moradores e havia se tornado uma das principais formas de trabalho disponíveis. Essa presença contrastava com atividades como a pesca, a agricultura e o pequeno comércio, mais diretamente articuladas à família e às relações comunitárias. Enquanto o emprego minerário inseria o trabalhador em uma estrutura produtiva organizada externamente, essas outras atividades reuniam produção, sustento familiar, aprendizagem e transmissão de conhecimentos entre gerações. A expansão da mineração, portanto, não significava apenas o surgimento de novos empregos, mas uma alteração nas formas de trabalho disponíveis e nas relações que as sustentavam.

A mesma relação aparece depois do desastre, embora sob outra forma. A autoridade passa a atuar por meio das regras e dos critérios utilizados para reconhecer os atingidos e definir quem tem direito à reparação. O caso de um pescador que exercia essa atividade havia cerca de trinta anos é particularmente expressivo. Ele teve dificuldade para obter o auxílio

[680] Ibidem.
[681] Ibidem.

emergencial porque não possuía carteira profissional de pescador, embora dispusesse de fotografias e testemunhas que comprovavam sua atividade.[682] O critério burocrático passou, nesse caso, a definir quais décadas de trabalho seriam reconhecidas institucionalmente.

Os dois momentos históricos pertencem ao mesmo vínculo. Antes do desastre, a autoridade associada à expansão da mineração modifica o conjunto de possibilidades de trabalho diante dos jovens, tornando o emprego minerário uma alternativa à continuidade de atividades tradicionais. A busca dos jovens por empregos nas mineradoras expressa essa transformação.[683] Depois do desastre, quando as condições materiais de realização dessas atividades são destruídas, a autoridade passa também a atuar por meio das regras e dos critérios utilizados para reconhecer o trabalho e definir quem tem direito à reparação. A autoridade interfere, assim, no trabalho tanto ao participar da definição das condições em que ele pode ser realizado quanto ao estabelecer quais formas de trabalho serão reconhecidas.

6.4.2.2 (b) Trabalho → Apropriação da Riqueza

O trabalho participa da Apropriação da Riqueza porque a forma como o trabalho é organizado interfere na maneira como os bens e recursos produzidos circulam e são apropriados. Nos casos analisados, duas formas de trabalho contribuíam para organizar a vida econômica de maneiras distintas. O emprego especializado inseria a capacidade de trabalho dos moradores em uma estrutura produtiva controlada pela empresa mineradora. Os meios de produção, a organização da atividade e a proprie-

---

[682] Minas Gerais, 2019.

[683] Para uma análise empírica desse processo, ver Bryceson (2014), que descreve a transição de comunidades agrárias para economias crescentemente baseadas na mineração na Tanzânia e observa, entre os jovens que passam a se dedicar integralmente à atividade minerária, uma ruptura com trajetórias tradicionalmente associadas às gerações anteriores. A autora destaca que esses jovens passam a buscar maior autonomia e mobilidade e deixam de projetar seu futuro a partir do retorno às comunidades familiares e às atividades agrícolas.

dade do empreendimento permaneciam sob controle da empresa, enquanto o trabalhador recebia uma remuneração por sua participação na produção. A riqueza gerada pelo trabalho local entrava, assim, em uma circulação econômica mais ampla, na qual parcela significativa de seu valor era apropriada fora da comunidade.

Outras atividades, como a pesca, a agricultura e o pequeno comércio, estavam organizadas de maneira diferente. O trabalho realizado pelos próprios moradores podia produzir alimento, renda e bens para troca, além de sustentar relações de dádiva, ajuda e reciprocidade. Parte do que era produzido podia ser consumida pela própria família, trocada com vizinhos ou vendida localmente. Trabalho, produção, consumo e circulação permaneciam, assim, diretamente articulados à vida comunitária e às condições locais que tornavam essas atividades possíveis. Nessa forma de organização, o trabalho não produzia apenas uma renda individual, mas participava de uma circulação de recursos que permanecia mais próxima dos próprios moradores.

É nesse contraste que se situa a configuração denominada neste capítulo como extração e concentração. Na mineração, o trabalho realizado localmente participa de uma estrutura produtiva que produz riqueza em grande escala, mas cuja apropriação permanece concentrada na empresa, em seus proprietários e em centros econômicos externos. Os dados apresentados anteriormente sobre Mariana mostram a forte dependência da economia municipal em relação à atividade minerária e o peso muito superior da atividade industrial em comparação com os demais setores.

Nas atividades integradas à vida comunitária, por outro lado, a riqueza produzida pelo trabalho podia permanecer sob a forma de alimento, ser trocada, doada, vendida ou utilizada para atender necessidades de outras pessoas. Eram formas diferentes de organizar o trabalho e, consequentemente, diferentes formas de fazer circular e apropriar os recursos produzidos.

Os relatos sobre a pesca mostram concretamente como essa forma de trabalho sustentava uma organização econômica própria. A pesca não constituía apenas uma ocupação individual: podia complementar a renda em períodos de desemprego, garantir a alimentação e gerar trocas entre os moradores. O produto do trabalho podia assumir diferentes destinos conforme a necessidade — ser consumido pela família, trocado por outro bem, vendido ou compartilhado com quem precisava. A produção obtida por meio dessas atividades circulava, assim, em relações de proximidade que articulavam trabalho, sustento familiar e vida comunitária:

> Todo mundo que necessitava de algo a mais recorria à pesca. Muitos que, às vezes, passavam um tempo desempregados, nesse tempo era a pesca que sustentava. Existia muito essa questão da troca, você que enjoou de comer um peixe hoje, você ia lá pescava e chegava num comércio, ou na rua, e já vendia o peixe, às vezes até no próprio comércio você trocava o peixe numa outra coisa, hoje não. A pessoa pescava para consumo, para ajudar na renda deles. Hoje não tem mais, nem para consumo e nem para ajudar na renda, nem nada.[684]

O relato mostra que a pesca articulava diferentes formas de circulação econômica. Um mesmo trabalho podia produzir alimento para o consumo da família, gerar renda por meio da venda e sustentar trocas com outros moradores. A economia que se formava em torno dessas atividades dependia, portanto, da capacidade dos próprios moradores de produzir e fazer circular bens dentro da comunidade. Trabalho e circulação econômica permaneciam estreitamente ligados.

Pesca, agricultura e pequeno comércio ocupavam um espaço menor diante da estrutura econômica minerária, mas mantinham uma forma de circulação de recursos diretamente ligada à vida local. Nessas atividades, produzir também significava alimentar a família, trocar com os vizinhos, ajudar quem precisava e manter recursos circulando entre as próprias pessoas.

[684] Fraga et al., 2025, p. 71.

Essa circulação dependia, em grande medida, da produção realizada pelos próprios moradores. Relatos reunidos no livro mostram que peixe, ovos, galinha, leite e outros produtos eram trocados entre vizinhos, complementando a alimentação sem exigir que esses bens fossem convertidos em dinheiro. Uma das pessoas atingidas resumiu a mudança provocada pelo desastre: "A gente era pescador e agora virou comprador."[685]

Quando essas atividades foram destruídas pelos rompimentos, foi atingida também a organização econômica sustentada por elas. A perda da pesca, da agricultura e de outras formas de produção local significou perder não apenas trabalho e renda, mas também as possibilidades de produzir alimentos, realizar trocas e atender necessidades por meio dos próprios recursos e relações da comunidade. A passagem de "pescador" a "comprador", expressa nos relatos, sintetiza essa transformação. O que antes podia ser obtido pelo próprio trabalho, pela troca ou pela dádiva passou a depender da renda monetária e da compra no mercado. A necessidade de dinheiro aumenta porque parte das necessidades cotidianas deixa de ser atendida pelo próprio trabalho ou pelas relações de troca estabelecidas na comunidade:

> A vida está muito mais cara. Antes havia troca entre as pessoas da comunidade, do que produziam. Antes eu trocava um balde de peixe por ovos, galinha, com a vizinha.[686]

> A gente comia comida natural, sem agrotóxico, comida pura e natural. Era o melhor da planta, comida da roça mesmo! Agora só comemos coisa com agrotóxico que vem de fora. Isso prejudica a nossa saúde e não temos o prazer de comer nossa comida.[687]

A perda dessas atividades atingiu, assim, uma circulação econômica que reduzia a dependência do dinheiro e mantinha

[685] Fraga et al., 2025.
[686] Fraga et al., 2025, p. 69.
[687] Fraga et al., 2025, p. 83.

parte dos recursos produzidos circulando entre os próprios moradores.

> Eu plantava abóbora, quiabo, feijão… e colhia. Agora não colhe nada mais. Você planta uma horta, um pomar, e as coisas não crescem como cresciam antes! As minhas mexericas ficaram pretas.[688]

Em outros dois relatos, a consequência aparece de forma ainda mais direta:

> Agora não pode plantar, tem que comprar. Depois que a lama passou nos pés das plantas, nos quintais, simplesmente secou. Hoje só tem lama lá.[689]

> E quando a gente deixa de comer o nosso alimento do dia a dia vamos para o supermercado comer ultraprocessado. Nós somos obrigados a comer enlatado, porque não tem o peixe ou até a proteína mais barata. Então, o alimento industrializado e de mercado e de supermercado invadiu de tal forma que você não tem a alimentação natural que você tinha antes. Antes o pescador levava na sua casa o caranguejo pronto e não tem mais isso. Nossa alimentação era saudável, tanto para os pescadores, moradores, como para os turistas da região. Hoje não é mais, é uma alimentação duvidosa. Isso é um suicídio de vida, pois ainda estamos falando dos pequenos problemas de vida e estamos caminhando para um extermínio. Por a gente não conseguir comer peixe, começamos a consumir muita carne vermelha, ave com adição de hormônio e essas coisas assim. Trouxe essa mudança no organismo da gente. Despertou algum tipo de doença, pois não tava acostumado a lidar com isso.[690]

Os dois relatos mostram que a destruição das condições de produção transformou a relação entre trabalho, consumo e ren-

[688] Fraga et al., 2025, p. 70.
[689] Ibidem.
[690] Fraga et al., 2025, p. 84

da. Aquilo que antes podia ser produzido pelos próprios moradores passou a precisar ser comprado. O desastre atingiu, portanto, não apenas o trabalho enquanto fonte de renda, mas também sua capacidade de contribuir diretamente para o sustento das famílias e satisfação das necessidades locais.

A destruição das atividades ligadas ao Rio Paraopeba tornou essa diferença ainda mais visível. A interrupção da pesca prejudicou os próprios pescadores, mas também afetou atividades que dependiam da circulação econômica produzida por ela, como o comércio de artigos de pesca, a venda de iscas, bares, restaurantes e vendedores ambulantes. Em Cachoeira do Choro, o desaparecimento dos turistas atingiu desde bares e áreas de *camping* até agricultores, coletores de frutos do cerrado e lojas de material de construção.

A dependência em relação à mineração também alcançava atividades que, embora situadas fora da estrutura produtiva da empresa, estavam ligadas à circulação econômica que ela produzia. Uma comerciante de papelaria e artigos de presente no Córrego do Feijão havia investido cerca de R$ 20 mil em mercadorias para o período de volta às aulas. O rompimento interrompeu o acesso ao comércio e, quando a papelaria foi reaberta, a ausência de clientes tornou inviável sua continuidade. Seu marido, caminhoneiro autônomo que prestava serviços para mineradoras, também ficou sem trabalhar após o rompimento.[691]

O caso mostra que a estrutura econômica minerária alcançava também trabalhadores autônomos, comerciantes e outros agentes que dependiam da circulação econômica associada à mineração. A mesma família foi afetada por duas formas distintas de inserção econômica, revelando como o emprego especializado e as atividades comerciais locais estavam ligados a uma mesma estrutura de dependência.

A mudança pode ser sintetizada no relato de uma pessoa atingida que relaciona diretamente a perda da pesca ao aumento da necessidade de renda monetária:

---

[691] Minas Gerais, 2019.

> Rio é fonte de alimento. Hoje tem que comprar ou ficar sem comer. Muitas vezes, a [Fundação] Renova questiona que você não perdeu renda, mas antes você pescava e agora tem que comprar carne. Então você está perdendo renda![692]

A perda não se restringia apenas ao dinheiro que deixava de ser obtido com a pesca. O próprio alimento, antes obtido diretamente do rio, passou a exigir recursos monetários para ser adquirido. A destruição de uma atividade de trabalho produziu, assim, uma nova necessidade de renda para atender uma necessidade que antes podia ser satisfeita pela própria produção.

O vínculo entre Trabalho e Apropriação da Riqueza evidencia, portanto, como diferentes formas de trabalho contribuem para diferentes formas de organização econômica. O emprego especializado incorpora o trabalho local à estrutura produtiva da mineração, na qual a riqueza produzida é apropriada de forma concentrada e parte significativa de seus resultados não permanece na comunidade. As atividades de pesca, agricultura, pequeno comércio e outras formas de trabalho local, por sua vez, sustentavam uma economia baseada na produção para o próprio consumo, nas trocas, na dádiva, na ajuda entre moradores e na circulação de recursos em relações diretamente ligadas à vida comunitária e às condições locais. Os rompimentos de Mariana e Brumadinho destruíram grande parte das condições materiais que permitiam a continuidade dessas atividades e, com elas, atingiram a própria organização econômica que sustentavam. A perda dessas formas de trabalho ampliou a necessidade de renda monetária e deslocou parte da satisfação das necessidades cotidianas da produção, das trocas e da ajuda entre moradores para a compra de bens e serviços no mercado.

---

[692] Fraga et al., 2025, p. 70.

6.4.2.3 (c) Apropriação da Riqueza ↔ Organização Social

A relação entre Apropriação da Riqueza e Organização Social precisa ser observada nos dois sentidos. A forma como a riqueza é apropriada e distribuída interfere nas relações sociais e na capacidade de ação coletiva, enquanto a capacidade de organização da comunidade interfere em sua possibilidade de influenciar a forma como essa riqueza é produzida e apropriada.

Em Brumadinho e Mariana, a mineração ocupava uma posição central na arrecadação municipal, tornando os municípios fortemente dependentes dos recursos gerados pela atividade. Essa dependência mostra que a mineração não constituía apenas uma importante atividade econômica, mas estava vinculada ao próprio funcionamento financeiro dos municípios. A necessidade de preservar os recursos associados à atividade conferia à mineração um peso que ultrapassava a produção de riqueza e alcançava as decisões públicas, criando condições que dificultavam o questionamento de uma estrutura econômica da qual os próprios municípios dependiam.

A relação entre riqueza e organização social também aparece depois do desastre, quando a reparação financeira passa a ser utilizada para responder a perdas que ultrapassam aquilo que pode ser convertido em valor monetário. O caso de uma moradora atingida é significativo. Sua casa permaneceu de pé por estar situada na borda da área atingida, enquanto a rua onde vivia e a casa de sua mãe foram destruídas. Em seu relato, ela afirma que nem mesmo uma indenização de três milhões de reais seria suficiente para recuperar tudo o que perdeu. O café da tarde com a vizinha ou a rotina de ver a mãe no portão. Nenhuma transferência bancária devolveria o seu cotidiano. A compensação podia atribuir um valor monetário às perdas materiais, mas não restabelecia as relações sociais nas quais sua vida estava organizada.

A mesma dimensão da perda aparece nos relatos sobre as feiras, que articulavam a circulação da produção com formas

de convivência e reciprocidade. Uma das entrevistadas recorda que:

> As feiras eram momentos de confraternização e lazer. Era uma alegria, muito prazer de encontrar os amigos todas as quintas-feiras. O momento também era uma forma de mostrar o trabalho e as pessoas conhecerem a produção orgânica. A mercadoria que sobrava não voltava. O que não vendia, trocava entre os parceiros, fazíamos amizades.[693]

A feira reunia, assim, dimensões que a compensação financeira dificilmente poderia reproduzir. A comercialização da produção gerava riqueza, enquanto a troca dos produtos excedentes, os encontros semanais e a formação de amizades fortaleciam as relações sociais. A própria circulação da mercadoria estava integrada à organização da vida comunitária. Quando essas relações são interrompidas, a perda econômica ultrapassa o valor monetário dos bens e alcança também as formas de convivência e reciprocidade que davam sentido à atividade produtiva.

A diferença entre compensar uma perda material e recompor a organização social torna-se, assim, central para compreender os limites da reparação financeira. Uma casa, um terreno ou um bem podem receber uma expressão monetária, mas essa compensação não recompõe automaticamente as relações de vizinhança, os encontros cotidianos, os vínculos familiares e as formas de convivência que estavam associadas àqueles bens e atividades.

Essa dependência econômica também interfere na autonomia com que a comunidade pode se posicionar diante da atividade que produz a riqueza da qual depende. Uma comunidade pode manter fortes vínculos de vizinhança e pertencimento e, ainda assim, ter pouca capacidade de interferir nas decisões econômicas que estruturam sua vida. É justamente essa diferença que aparece nos casos analisados. Havia organização co-

[693] Fraga et al., 2025, p. 97.

munitária, mas a participação nas decisões relacionadas à mineração permanecia predominantemente consultiva.

O movimento contrário também é importante. Quando a organização social perde capacidade de formular reivindicações comuns e de agir coletivamente, torna-se mais difícil questionar uma estrutura econômica já estabelecida. A fragilidade da ação coletiva pode, assim, favorecer a manutenção de formas concentradas de apropriação da riqueza. No processo de reparação de Brumadinho, o Ministério Público registrou convocações individuais de lideranças comunitárias que seus técnicos identificaram como tentativas de desmobilizar reivindicações coletivas por meio de negociações individualizadas. Nesse contexto, a individualização das negociações pode contribuir para fragmentar interesses que antes podiam ser formulados coletivamente. A riqueza concentrada não apenas se beneficia de uma Organização Social fraca, ela trabalha ativamente para mantê-la fragmentada.

Em Mariana, a reparação introduziu uma nova camada de relações burocráticas entre atingidos, empresas e instituições responsáveis pela reconstrução. A Fundação Renova foi criada por acordo para administrar programas de reparação e compensação e é financiada por Samarco, Vale e BHP. O processo de reparação tornou-se prolongado, marcado por procedimentos administrativos, demora no pagamento de indenizações e negociações individualizadas. A forma de distribuição dos recursos passou, assim, a interferir também nas relações entre os próprios atingidos, especialmente quando diferentes pessoas receberam tratamentos, valores ou pagamentos em momentos distintos.

Esse enfraquecimento da organização comunitária ganha contornos dramáticos durante o próprio processo de reparação financeira, que atua como um poderoso agente desagregador. A injeção de recursos de forma pontual e desigual fratura a comunidade. Relatos mostram que o pagamento de auxílios e adiantamentos, como a verba emergencial de R$ 100 mil, gerou discórdia e conflitos até mesmo dentro do núcleo familiar

dos atingidos. Em municípios como Barra Longa, a tática das empresas de atender algumas pessoas de forma arbitrária e ignorar outras, especialmente as mais necessitadas, semeou contendas entre os vizinhos.[694]

A individualização dessas negociações interferiu nas relações entre os próprios moradores. Quando pessoas que pertenciam à mesma comunidade recebem tratamentos ou indenizações diferentes em momentos diferentes, a comparação entre vizinhos passa a fazer parte da experiência da reparação. A burocracia pode, nesse contexto, acrescentar novas tensões às relações comunitárias que já haviam sido profundamente afetadas pelo desastre. Esse cenário ilustra como o poder econômico monopolizado (Apropriação da Riqueza) consegue fragmentar e pulverizar a coesão comunitária e, consequentemente, sua capacidade de ação coletiva (Organização Social).

O vínculo entre Apropriação da Riqueza e Organização Social aparece, portanto, nos dois sentidos. A forma concentrada de apropriação da riqueza pode aumentar a dependência econômica, interferir nas relações entre os moradores e reduzir sua capacidade de ação coletiva, especialmente quando a distribuição de recursos ocorre de forma individualizada e desigual. Ao mesmo tempo, uma organização social com pouca capacidade de formular reivindicações comuns encontra maiores dificuldades para questionar ou influenciar a estrutura econômica da qual depende. Nos casos analisados, essa relação aparece tanto na dependência dos municípios em relação à mineração quanto nos efeitos que a reparação financeira e sua forma de distribuição produziram sobre as relações entre os atingidos.

6.4.2.4 (d) Organização Social → Autoridade

A Organização Social interfere na Autoridade por meio da capacidade que a comunidade possui de transformar seus vínculos internos em ação coletiva. Vizinhança, confiança, pertencimento e cooperação criam condições para que os moradores

[694] Pronzato e Pontone, 2019; Ladeira et al., 2023.

reconheçam problemas comuns e formulem posições coletivas diante das instituições que tomam decisões sobre o território.

Nos casos analisados, porém, essa conversão era limitada. As comunidades apresentavam relações sociais fortes, mas essas relações não se traduziam em autogoverno da atividade minerária ou mesmo em capacidade equivalente de influenciar as decisões sobre a mineração. A participação dos moradores permanecia predominantemente consultiva, enquanto a autoridade sobre a atividade permanecia concentrada nas estruturas empresariais e governamentais. Havia organização comunitária, mas ela não constituía um contrapeso suficiente à concentração da autoridade.

O rompimento agravou essa condição ao atingir as próprias relações que sustentavam a comunidade. A Força-Tarefa Brumadinho registra entre os danos o desmantelamento, a eliminação ou o enfraquecimento das relações comunitárias e familiares. O caso de um morador que permaneceu em sua propriedade é expressivo. Embora não tenha sido fisicamente removido, ele perdeu vizinhos e amigos que costumavam frequentar o local e deixou de utilizar o córrego nas mesmas condições de antes. O morador permaneceu no território, mas deixou de viver nele nas mesmas condições sociais.[695]

Essa experiência individual encontra correspondência em uma percepção mais ampla sobre o enfraquecimento dos espaços de encontro e da capacidade de organização coletiva. Uma das pessoas entrevistadas sintetizou essa transformação da seguinte forma:

> Hoje a gente não faz isso mais no território, então ficou uma situação muito triste. O povo não quer saber mais de se sentar e reunir… Isso traz o fracasso da desorganização comunitária. É uma coisa ruim gerando coisas piores ainda, se agente não senta para discutir as coisas, só ficam piores.[696]

---

[695] Minas Gerais, 2019.

[696] Fraga et al., 2025, p. 93.

O relato associa diretamente a redução dos encontros à desorganização comunitária. A ausência dos espaços e das práticas de convivência reduz as oportunidades de diálogo, dificulta a construção de respostas comuns e pode aprofundar problemas que passam a ser enfrentados de maneira isolada.

A ruptura da vida comunitária também pode ocorrer sem que os moradores sejam fisicamente deslocados. Pessoas que permanecem fora da chamada "mancha da lama" podem perder vizinhos, infraestrutura, atividades econômicas e referências cotidianas sem serem imediatamente reconhecidas como atingidas. A ausência da marca física da lama não significa ausência do dano social. Em alguns casos, permanece apenas uma comunidade esvaziada, cercada por áreas removidas ou interditadas e submetida à presença permanente do risco.

Com o enfraquecimento dessas relações, diminui também a capacidade de enfrentar coletivamente decisões tomadas por empresas e instituições públicas. Os problemas passam a ser negociados com maior frequência por indivíduos ou núcleos familiares, enquanto as estruturas que concentram a autoridade permanecem organizadas e preservam sua capacidade de decisão. A perda de organização social fortalece as relações de autoridade existentes, reduzindo, assim, a capacidade de a comunidade influenciá-las.

O vínculo entre Organização Social e Autoridade, portanto, não significa que uma comunidade coesa determine diretamente as decisões sobre a mineração. Nos casos analisados, havia vínculos de vizinhança, pertencimento, cooperação e confiança, mas essa organização social não se convertia em capacidade equivalente de participar das decisões que estruturavam a atividade minerária. A autoridade permanecia concentrada nas instituições empresariais e governamentais. Os rompimentos, ao destruírem ou enfraquecerem parte das relações que sustentavam a vida comunitária, reduziram ainda mais as condições para a formação de uma ação coletiva capaz de influenciar essas estruturas de autoridade. Assim, uma organização social que já encontrava limites para se traduzir em influência sobre

as decisões passou a dispor de condições ainda menores para fazê-lo.

6.4.2.5 (e) Autoridade → Relação Ecológica

A Autoridade interfere nas condições institucionais dentro das quais a mineração se relaciona com o ambiente. Por meio de regras, licenças, fiscalização, exigências de segurança e decisões sobre a continuidade da operação, ela participa da definição das condições em que os riscos ambientais são prevenidos, tolerados ou enfrentados.

Na mineração convencional examinada nesta seção, a relação com o ambiente é marcada pela exploração dos recursos naturais e pelos impactos e riscos decorrentes dessa atividade. É sobre essa relação que incidem as decisões de autoridade, que estabelecem as condições sob as quais a exploração pode prosseguir.

Brumadinho oferece um exemplo concreto dessa relação. A Barragem B1 operava com fator de segurança abaixo do valor adotado como referência internacional.[697] Esse índice constava de um laudo apresentado pela Vale aos órgãos de fiscalização. Ao mesmo tempo, um trabalhador que conhecia a estrutura da barragem relatou que havia alertado seus superiores sobre problemas, mas não possuía autonomia para acionar diretamente as autoridades. O caso reúne, assim, uma condição técnica de risco e os limites institucionais para que esse risco produzisse uma mudança na operação.

O fator de segurança, isoladamente, é apenas uma informação técnica. Sua importância para este vínculo está em que uma condição de segurança considerada insuficiente estava inserida em uma estrutura institucional que permitiu a continuidade da operação. A relação ecológica produzida pela mineração, portanto, não depende apenas das características físicas da barragem, mas também das decisões que estabelecem as condições sob as quais a atividade pode continuar.

---

[697] Minas Gerais, 2019.

É nesse sentido que, no vínculo analisado, a Autoridade antecede a Relação Ecológica. Antes que o impacto ocorra, existem decisões sobre operação, fiscalização, segurança e tolerância ao risco que ajudam a determinar qual relação entre o empreendimento e o ambiente será produzida. Quando o impacto se concretiza, seus efeitos passam a incidir sobre os demais fatores do sistema. O dano pode afetar a produção e a circulação da riqueza, repercutir sobre a organização social e, por essa sequência de vínculos, alcançar novamente as estruturas de autoridade. A relação entre Autoridade e Relação Ecológica, portanto, participa de um encadeamento mais amplo, no qual as decisões de autoridade contribuem para configurar a relação com o ambiente, enquanto as consequências dessa relação podem repercutir sobre a autoridade por meio dos demais fatores.

O processo de transformação da Autoridade pode ser observado após os desastres. O impacto ambiental produz pressões sobre as instituições e pode levar à alteração de regras, exigências e mecanismos de controle. A Lei estadual 23.291/2019, popularmente conhecida como Lei Mar de Lama Nunca Mais, que proibiu novas barragens de alteamento a montante em Minas Gerais, expressa essa mudança após os rompimentos. O processo da lei evidencia de forma ainda mais clara esse movimento. A proposta surgiu por iniciativa popular após o rompimento de Fundão, em 2016, mas permaneceu paralisada por três anos e só foi aprovada em fevereiro de 2019, poucas semanas depois do rompimento de Brumadinho.[698] A experiência do primeiro desastre, portanto, gerou pressão por mudança institucional, mas não foi suficiente para produzi-la imediatamente; a alteração somente se concretizou após um segundo rompimento.[699]

---

[698] Agência Brasil, 2024.

[699] O Termo de Ajustamento de Conduta de Governança e a garantia de R$2,2 bilhões impostos à Samarco dez anos depois do rompimento de Fundão são, igualmente, exemplos de uma governança remodelada pela pressão do dano ambiental já consumado — não prevenção, mas resposta tardia que fecha o ciclo apenas depois que ele já se completou uma vez.

6.4.2.6 (f) Relação Ecológica → Apropriação da Riqueza

A Relação Ecológica retorna sobre a economia quando a degradação ambiental atinge as condições físicas das quais outras atividades dependem. O rio, o solo, a água e os demais elementos do ambiente não constituem apenas recursos ecológicos. Eles sustentam determinadas formas de trabalho e as relações econômicas que se estabelecem a partir delas.

A degradação produzida pela mineração comprometeu as condições de realização de diversas atividades no Rio Paraopeba. A Ação Civil Pública movida pela Força-Tarefa Brumadinho registra danos às formas de produção rural, à pesca, ao turismo, ao comércio e às cadeias produtivas dos municípios atingidos. Em Juatuba, as atividades relacionadas ao turismo de pesca incluíam aluguel de propriedades, comércio de artigos de pesca, venda de iscas, bares, restaurantes e comércio ambulante. Com a queda do turismo após o rompimento, essas atividades foram prejudicadas. Em Cachoeira do Choro, o desaparecimento dos visitantes comprometeu uma cadeia econômica que envolvia estabelecimentos comerciais, agricultores, coletores de frutos do cerrado e lojas de material de construção.[700]

A alteração ecológica também atingiu ambientes dos quais dependiam atividades produtivas específicas. No manguezal de São Mateus, por exemplo, os moradores relacionaram diretamente a degradação do manguezal à perda das condições de realização da agricultura e da criação de animais.

> Depois do desastre, víamos os caranguejos e peixes mortos, o mangue fedendo, a vegetação morta. Essa empresa criminosa. Acabando manguezais, tudo morto, os caranguejos, as ostras… vai na beira da praia: tudo morto! A gente vê o minério da beira da praia, aquela água vermelha…[701]

---

[700] Minas Gerais, 2019.

[701] Fraga et al., 2025, p. 53.

A contaminação do solo e da água comprometeu a alimentação dos animais, reduziu a disponibilidade de pastagens e obrigou produtores a deslocar ou encerrar suas criações.

> Na terra úmida, a produção da aroeira vem com mais força. Fica próxima ao mangue. E quando veio o rejeito, todas morreram. As vacas, que comiam o capim próximo ao mangue, faziam esses abortamentos de bezerros. Tudo isso, que a gente fazia aqui na agricultura, não tem mais. A apicultura acontecia muito nos manguezais, os enxames ficavam próximos aos manguezais e aroeiras, caiu muita florzinha e diminuiu tudo…[702]

> Pela lama tóxica ter passado e estragado o solo, eu fiquei com dificuldade de produzir o alimento para as criações, tive que acabar com a criação de porco tudo. Só de lembrar eu fico em pânico… os bichos começaram a passar fome, vendia apreço de banana e perdi tudo. Morreu gado naquela época que a lama chegou, bebendo água do rio… Os pecuaristas, que têm bois na beira do rio, nas ilhas, assuas vacas não tão segurando a cria, tão abortando. Tá tendo muita perda pros pecuaristas: os gados, os carneiros, as cabras. Quem tá usando a água, tá tendo perdas.[703]

Relatório técnico do MPMG registrou danos à produção de hortaliças, capim e milho para silagem, além da criação de bovinos, caprinos, suínos e aves e da apicultura em diferentes municípios da bacia. Todas essas atividades foram afetadas pela contaminação do rio.

> O efeito sobre a produção também podia atingir atividades cuja relação com a água era indireta. Em Maravilhas, um produtor de mel demonstrou preocupação com a possibilidade de contaminação de sua produção, já que não tinha como controlar o deslocamento das abelhas. Caso o mel fosse contaminado, teria de se desfazer

[702] Ibidem.
[703] Fraga et al., 2025, p. 60.

> de mais de trinta colmeias. Na época do relatório, não havia laudos sobre a produção.[704]

A Relação Ecológica interfere, nesse sentido, na circulação econômica sustentada pelas atividades locais. A degradação ambiental alterou a própria base material dessa circulação. Quando o rio deixou de oferecer peixe e a água deixou de poder ser utilizada na produção, a comunidade perdeu condições de produzir e trocar aquilo que antes obtinha diretamente do ambiente. A alteração ecológica atingiu, assim, uma forma de riqueza cuja produção e circulação dependiam da permanência dessas condições.

Os casos analisados mostram que a apropriação da riqueza produzida pela mineração ocorre sobre condições ecológicas que também sustentam outras formas de trabalho e produção. Quando essas condições são degradadas, os efeitos econômicos não se restringem à atividade minerária, atingem também atividades que produzem e fazem circular riqueza em escala local. A degradação ecológica pode, assim, deslocar a apropriação de recursos de formas diretamente vinculadas ao trabalho dos moradores para formas que dependem cada vez mais da renda monetária e do mercado.

A perda das condições ecológicas também pode afetar a economia local por meio da permanência das pessoas. Quando atividades dependentes do ambiente deixam de ser viáveis, diminuem as possibilidades de trabalho e de sustento, o que pode levar famílias e, especialmente, os mais jovens a buscar outras formas de sustento, em outros lugares. A saída das pessoas reduz, por sua vez, a capacidade de manter atividades econômicas, relações de troca e formas de produção e consumo que dependiam de sua presença. A degradação ambiental alcança, assim, a economia local não apenas pela perda direta de atividades produtivas, mas também pela redução das pessoas que participam de sua continuidade. [705]

---

[704] Minas Gerais, 2019, p. 51.
[705] Fraga et al., 2025.

Essa característica é central para a análise sistêmica proposta neste capítulo porque mostra que o ambiente não constitui apenas o destino dos impactos da atividade econômica. As alterações produzidas pela mineração na Relação Ecológica retornam à Apropriação da Riqueza ao modificar as condições de produção, circulação e consumo de bens. A perda dessas condições pode atingir o trabalho e a organização social e, por meio dos demais vínculos do modelo, repercutir novamente sobre a economia. A relação entre ambiente e riqueza, portanto, integra um circuito mais amplo no qual a atividade econômica transforma as condições ecológicas das quais ela própria e outras formas de produção dependem.

6.4.2.7 (g) Apropriação da Riqueza → Autoridade

A Apropriação da Riqueza interfere na Autoridade quando a economia do município passa a depender fortemente da atividade sobre a qual essa mesma autoridade deveria exercer controle. A dependência não elimina formalmente o poder de fiscalizar ou restringir a mineração. Ela aumenta, porém, o custo econômico e político de restringir ou contrariar essa atividade.

A influência da Apropriação da Riqueza sobre a Autoridade se manifesta não apenas no orçamento direto das prefeituras, mas também nos espaços de decisão política. As fontes utilizadas neste capítulo apontam a presença massiva de financiamento direto ou indireto de empresas mineradoras em campanhas de parlamentares e deputados estaduais de Minas Gerais. Essa proximidade entre o setor minerário e os representantes políticos pode aproximar os interesses de quem controla a atividade econômica daqueles que participam da definição das condições institucionais de sua exploração. A influência econômica também pode alcançar a própria configuração das regras que incidem sobre a atividade. A Lei Kandir, ao isentar do ICMS as exportações de produtos primários e semielaborados, entre eles o minério, reduziu a tributação estadual sobre uma atividade de grande importância econômica. Em conjunto com a forte dependência dos municípios em relação aos recursos as-

sociados à mineração, essas condições ajudam a compreender como a concentração da Riqueza pode interferir no exercício da Autoridade.[706] A concentração econômica da mineração alcança, assim, também o espaço político, aproximando os interesses de quem explora os recursos daqueles que definem as condições institucionais de sua exploração.

Essa dependência financeira ajuda a compreender a relação entre riqueza e autoridade nos casos analisados. Em Brumadinho e Mariana, os recursos associados à mineração ocupavam posição central nas receitas municipais, de modo que a continuidade da atividade estava diretamente ligada ao funcionamento financeiro dos municípios. Essa condição tornava mais difícil confrontar ou restringir uma atividade da qual dependiam recursos necessários à própria administração pública.

É nesse contexto que a aceitação de um laudo de estabilidade posteriormente classificado como "ideologicamente falso" pode ser analisada para além de uma falha individual de fiscalização. A empresa fiscalizada ocupava uma posição econômica decisiva para o município, criando uma situação na qual o exercício da autoridade ocorria diante de uma atividade da qual o próprio poder público dependia. A mesma dependência ajuda a compreender a reação posterior ao desastre. Em 2016, autoridades de Mariana defenderam publicamente a retomada das operações da Samarco, relacionando essa necessidade às perdas de arrecadação e aos efeitos econômicos provocados pela paralisação da empresa.[707] O desastre havia produzido danos graves, mas não eliminado a dependência econômica que condicionava a posição do município diante da empresa.

A dependência econômica, portanto, altera o exercício da autoridade. O município continua tendo formalmente a responsabilidade de fiscalizar, regular e defender o interesse público, mas precisa fazer isso diante de uma estrutura econômica da qual depende. Quanto maior essa dependência, maior o custo de contrariar a empresa que produz a riqueza necessária ao

[706] Pronzato e Pontone, 2019; Ladeira et al., 2023; TV Assembleia, 2016.
[707] ALMG, 2016.

funcionamento das próprias instituições burocráticas. A riqueza que captura a governança em nível macro é a mesma que, em nível micro, tenta capturar a decisão individual de quem já não confia nas instituições que deveriam protegê-lo.

Os sete vínculos apresentados mostram que a vida das comunidades analisadas precisa ser compreendida a partir das relações entre os diferentes fatores. O Quadro 9 resume os sete vínculos discutidos nesta seção e seus principais mecanismos, permitindo visualizar, de forma conjunta, como Autoridade, Trabalho, Apropriação da Riqueza, Organização Social e Relação Ecológica se articulam em torno da atividade minerária.

Quadro 9 – Síntese dos vínculos entre os fatores

Vínculo	**O que o vínculo significa**
(a) Autoridade → Trabalho	A autoridade define as condições de realização e reconhecimento do trabalho, influenciando tanto a organização da atividade minerária quanto as possibilidades de continuidade de formas tradicionais de trabalho.
(b) Trabalho → Apropriação da Riqueza	A forma de organização do trabalho condiciona a produção, a circulação e a apropriação da riqueza, distinguindo uma produção minerária de apropriação concentrada de formas locais de trabalho associadas ao consumo, às trocas e à reciprocidade.
(c) Apropriação da Riqueza ↔ Organização Social	A forma de apropriação da riqueza interfere na organização e na capacidade de ação coletiva, enquanto a organização social condiciona a capacidade da comunidade de influenciar sua produção e apropriação.

(d) Organização Social → Autoridade	A capacidade de organização coletiva condiciona a possibilidade de a comunidade influenciar as estruturas de autoridade e participar das decisões que afetam sua vida, enquanto seu enfraquecimento amplia a concentração dessas decisões.
(e) Autoridade → Relação Ecológica	As decisões de autoridade estabelecem as condições institucionais de exploração, fiscalização e segurança que configuram a relação da atividade minerária com o ambiente e os riscos a ela associados.
(f) Relação Ecológica → Apropriação da Riqueza	As condições ecológicas sustentam formas de produção e circulação de riqueza, de modo que sua degradação pode destruir atividades econômicas locais e deslocar a satisfação de necessidades para a renda monetária e o mercado.
(g) Apropriação da Riqueza → Autoridade	A concentração da riqueza e a dependência econômica em relação à mineração interferem no exercício da autoridade, aumentando os custos políticos e econômicos de regular, restringir ou contrariar a atividade minerária.

A configuração identificada nos dois casos resulta da maneira como esses fatores se relacionam entre si, formando encadeamentos nos quais os efeitos de uma relação repercutem sobre outras e, posteriormente, retornam sobre as condições que sustentam o próprio processo.

Por isso, a análise dos vínculos representa um primeiro nível de compreensão. Um vínculo mostra como um fator interfere em outro; a análise dos ciclos permite observar o que acontece quando essas influências se encadeiam ao longo do tempo e seus efeitos retornam sobre as condições que sustentam o próprio processo.

A questão, portanto, passa a ser compreender o que ocorre quando Autoridade, Trabalho, Apropriação da Riqueza, Organização Social e Relação Ecológica atuam simultaneamente e

suas relações se prolongam no tempo. É nesse encadeamento que se formam mecanismos de retroalimentação capazes de reforçar determinada configuração, favorecer sua continuidade ou contribuir para sua transformação.

O tempo, nesse sentido, não corresponde apenas à sequência cronológica dos acontecimentos. Ele participa da própria dinâmica do sistema, pois uma configuração pode criar condições que favoreçam sua continuidade, sua transformação ou sua ruptura. A análise dos ciclos permite observar justamente como determinadas relações se reforçam ao longo do tempo e passam a contribuir para a reprodução das condições que as sustentam.

Essa perspectiva é particularmente importante para comunidades dependentes da mineração. Quando a configuração existente produz mecanismos que reforçam sua própria continuidade, o desastre pode ser compreendido como a manifestação extrema de um processo que vinha sendo construído historicamente. Nesse caso, a alteração de apenas um dos vínculos ou a correção de efeitos específicos pode ser insuficiente para modificar a trajetória do sistema, caso permaneçam os demais mecanismos que sustentam sua reprodução.

A seção seguinte examina, portanto, os principais ciclos de retroalimentação identificados no modelo, buscando compreender como essa configuração se reproduz, se reforça e se transforma ao longo do tempo. Essa análise será importante para compreender a trajetória das comunidades estudadas e, posteriormente, avaliar se a atividade de mineração conduz necessariamente a esse tipo de configuração ou se os mesmos fatores podem ser articulados de outra maneira.

6.4.3 Ciclos de Retroalimentação

Os vínculos analisados na seção anterior mostram como diferentes aspectos da realidade se relacionam. Considerados em conjunto, eles permitem compreender como determinadas configurações podem se manter e se reforçar ao longo do tempo. Os efeitos produzidos por essas relações modificam as condi-

ções em que os próprios vínculos operam e, com isso, passam a influenciar novamente as relações que deram origem ao processo.

É essa dinâmica que será examinada nesta seção. O objetivo é compreender como uma determinada configuração adquire condições para se reproduzir historicamente, a partir de ciclos de retroalimentação nos quais os efeitos produzidos por um conjunto de relações retornam sobre as condições que sustentam o próprio processo.

Nos casos de Mariana e Brumadinho, cinco ciclos são particularmente relevantes (ver Quadro 10). O primeiro mostra como a dependência institucional se reproduz por meio da relação entre autoridade, trabalho, riqueza e organização social. O segundo evidencia a concentração de poder resultante da articulação entre autoridade, trabalho e apropriação da riqueza. O terceiro mostra como a relação ecológica interfere na economia e, por meio dela, retorna às decisões de autoridade. O quarto evidencia como a degradação ambiental pode atingir a economia e, a partir dela, aprofundar o enfraquecimento da organização comunitária. Por fim, o quinto reúne esses movimentos em um circuito sistêmico mais amplo, permitindo observar como os diferentes ciclos se articulam entre si.

Quadro 10 – Síntese dos ciclos de retroalimentação	
Ciclo	**Vínculos que compõem o ciclo**
Reprodução da dependência institucional	Autoridade → Trabalho → Apropriação de Riqueza → Organização Social → Autoridade
Concentração de poder	Autoridade → Trabalho → Apropriação de Riqueza → Autoridade
Econômico-ecológico	Autoridade → Relação Ecológica → Apropriação de Riqueza → Autoridade
Enfraquecimento comunitário	Organização Social → Autoridade → Relação Ecológica → Apropriação de Riqueza → Organização Social
Sistêmico principal	Autoridade → Trabalho → Apropriação de Riqueza → Organização Social → Autoridade → Relação Ecológica → Apropriação de Riqueza → Autoridade

6.4.3.1 Ciclo de Reprodução da Dependência Institucional

Esse ciclo mostra como uma configuração inicialmente organizada pela Autoridade pode adquirir uma dinâmica de autopreservação, na qual as relações que estruturam a atividade passam a produzir condições para sua própria continuidade, reproduzindo a dependência institucional.

A literatura sobre desenvolvimento econômico oferece um conceito útil para interpretar esse fenômeno. O que se convencionou chamar de "maldição dos recursos" (*resource curse*) descreve a situação paradoxal em que regiões ricas em recursos naturais frequentemente apresentam menor diversificação econômica, maior dependência institucional e resultados sociais inferiores aos observados em regiões com menor disponibilidade desses recursos. Em sua síntese da literatura, Gavin Bridge observa que autores como Richard Auty identificam quatro mecanismos recorrentes nesse processo:

> (a) Os booms minerais tendem a concentrar as receitas no governo, que as utiliza para mascarar ou adiar a necessidade de reformas econômicas; (b) como resultado, os países ricos em recursos desenvolvem Estados faccionais ou predatórios, em vez de Estados com autonomia suficiente para adotar políticas econômicas coerentes e que busquem aumentar o bem-estar social; (c) o desenvolvimento mineral desvia recursos financeiros e humanos de outros setores, deixando-os subdesenvolvidos e não competitivos quando o boom mineral chega ao fim; e (d) os ganhos extraordinários provenientes dos minerais costumam ser absorvidos muito rapidamente, levando à inflação e à valorização da taxa de câmbio, o que retarda a diversificação para produtos comercializáveis não minerais […] [708]

Embora formulada originalmente para explicar o desempenho de economias nacionais dependentes da exportação de recursos naturais, essa análise pode ser adaptada à escala municipal. Os mecanismos descritos por Auty aparecem de forma reconhecível em localidades cuja arrecadação se concentra fortemente na mineração. A dependência da CFEM reduz os incentivos à diversificação econômica; a necessidade de preservar a principal fonte de receita limita a capacidade institucional de fiscalização e contestação; trabalhadores, investimentos e atenção política convergem para o setor mineral em detrimento de outras atividades; e a prosperidade associada aos períodos de expansão frequentemente dificulta a preparação para o inevitável declínio futuro. Sob essa perspectiva, a situação observada em Brumadinho e em outros municípios mineradores pode ser compreendida como uma manifestação local da maldição dos recursos.

Em nosso modelo sistêmico, a Autoridade organiza o Trabalho ao definir as condições em que a atividade produtiva será realizada. Na mineração convencional, essa organização favorece o emprego especializado e incorpora parcela significativa da força de trabalho da população à estrutura produtiva da em-

[708] Bridge, 2004a, p. 228, tradução nossa.

presa. O Trabalho, por sua vez, participa da produção de riqueza dentro de uma estrutura na qual os meios de produção, a organização da atividade, a propriedade do empreendimento e os lucros obtidos permanecem concentrados. A riqueza produzida é, assim, apropriada segundo uma estrutura de extração e concentração.

Essa forma de apropriação interfere na Organização Social. Quando uma parcela importante do emprego, da renda e das receitas públicas depende de uma atividade econômica concentrada, torna-se mais difícil para a comunidade construir uma posição independente diante dela. A organização comunitária pode permanecer forte no plano das relações de vizinhança e pertencimento, mas encontra maiores dificuldades para transformar esses vínculos em capacidade de influenciar as decisões que estruturam a economia local.

A dependência econômica, portanto, produz efeitos que ultrapassam a arrecadação municipal. A mineradora injeta recursos significativos no município por meio da CFEM e, à medida que essa receita se torna central para o funcionamento da administração pública, outras atividades econômicas podem perder espaço. Turismo, pesca, agricultura e outras possibilidades de diversificação passam a ocupar uma posição secundária na economia local, enquanto comércio e serviços se organizam cada vez mais em torno da circulação de recursos associados à mineração. A cidade passa, assim, a funcionar em grande medida como prestadora de serviços para a própria atividade minerária.

Essa dependência também produz efeitos sobre a percepção e as escolhas da própria comunidade. Quando a continuidade da mineração passa a ser associada à manutenção do emprego, da renda e dos serviços locais, a defesa da permanência da empresa pode adquirir uma dimensão coletiva, mesmo quando seus riscos e impactos já são conhecidos. No seu estágio sociológico e psicológico mais agudo, esse processo tem sido descrito como a "Síndrome de Estocolmo Minerária". Trata-se da situação em que comunidades submetidas à minero-dependên-

cia passam a desenvolver vínculos de identificação com a empresa e a defender sua permanência, inclusive após episódios de grave impacto ambiental. O caso de Macacos ilustra essa dinâmica: moradores chegaram a agradecer publicamente à Vale pela construção de uma escola provisória para as crianças, embora a necessidade da obra tivesse surgido porque a escola original precisou ser evacuada diante do risco de rompimento de outra barragem da própria empresa.[709]

Os riscos podem ser conhecidos e, ainda assim, a permanência da empresa continuar sendo defendida pela população e pelo poder público. O medo do desemprego ganha do medo da barragem romper. O padeiro, o mecânico, o trabalhador terceirizado e o próprio prefeito dependem, em diferentes graus, da continuidade da atividade. Quando a interrupção da mineração é percebida como ameaça à própria sobrevivência econômica do município, a defesa da empresa pode adquirir uma dimensão coletiva. A dependência passa, então, a restringir as possibilidades de diversificação econômica e a limitar as alternativas disponíveis para o futuro do município.

O movimento retorna então à Autoridade. Uma comunidade cuja capacidade de ação coletiva é limitada encontra mais dificuldades para exercer pressão sobre as instituições responsáveis pela regulação, fiscalização e definição das condições da atividade minerária. A autoridade permanece, portanto, concentrada nas estruturas que já controlam essas decisões.

O ciclo se fecha quando essa estrutura de autoridade volta a organizar o Trabalho em condições que preservam a centralidade da atividade minerária. A concentração da Autoridade favorece determinada forma de organização produtiva; essa forma produz riqueza cuja apropriação interfere na Organização Social; e uma Organização Social com menor capacidade de influência encontra maiores dificuldades para modificar a estrutura de Autoridade que sustenta esse modo de organização.

O que se reproduz, portanto, é uma relação de dependência. A configuração pode incorporar mudanças em aspectos espe-

[709] Ladeira et al., 2023.

cíficos de seu funcionamento, enquanto preserva as relações fundamentais que sustentam sua continuidade.

6.4.3.2 Ciclo de Concentração de Poder

O segundo ciclo corresponde a um aspecto específico do ciclo anterior. Ele evidencia como a concentração da riqueza, produzida pela organização do Trabalho, retorna à Autoridade por meio da dependência econômica, reforçando as condições que sustentam a própria concentração.

A Autoridade organiza o Trabalho e estabelece as condições institucionais para que a atividade minerária seja realizada. Na mineração convencional, essa organização concentra grande parte das oportunidades de trabalho e da capacidade produtiva em uma estrutura empresarial especializada. O Trabalho, por sua vez, participa da produção de uma riqueza cuja apropriação permanece concentrada entre os agentes que controlam os meios de produção, a empresa e os resultados da atividade.

Quando essa riqueza se concentra, ela retorna à Autoridade por meio da dependência econômica. Municípios que dependem fortemente da mineração para obter empregos, receitas e circulação econômica continuam formalmente responsáveis por fiscalizar e regular a atividade, mas passam a exercer essas funções diante de uma relação de dependência. Restringir a atividade pode significar reduzir justamente os recursos dos quais o próprio poder público depende.

A riqueza concentrada deixa de atuar apenas como resultado econômico da atividade. Ela passa a constituir uma fonte de poder sobre as condições institucionais em que a própria atividade é realizada. Quanto maior a dependência em relação à riqueza produzida pela mineração, maior tende a ser o custo político e econômico de decisões que possam interromper, restringir ou modificar sua operação.

Essa relação também aparece na capacidade de decisão dentro da própria empresa. Os documentos internos da Vale mostram que determinadas condições de risco já eram conhecidas antes do rompimento. O programa Barragem Zero, elaborado

em 2009, identificava estruturas consideradas arcaicas que deveriam ser desativadas, entre elas o complexo do Córrego do Feijão.[710] A permanência dessas estruturas ao longo dos anos esteve relacionada a decisões envolvendo custos, logística de produção e continuidade operacional.

O conhecimento técnico sobre o risco encontrava-se inserido em uma estrutura decisória na qual segurança, custos, logística e continuidade da produção eram considerados conjuntamente. A existência de uma informação técnica não garante que ela tenha força suficiente para prevalecer sobre interesses econômicos e operacionais.

É nesse ponto que o ciclo se fecha. A Autoridade organiza o Trabalho em uma estrutura produtiva concentrada; essa estrutura produz riqueza concentrada; a concentração da riqueza aumenta a dependência em relação à atividade; e essa dependência amplia o custo de decisões que poderiam alterar as condições de funcionamento da própria estrutura produtiva. A Autoridade, condicionada por essa relação, mantém as condições que permitem a continuidade da atividade e, consequentemente, a reprodução da concentração da riqueza.

O poder, nesse ciclo, não está apenas em quem possui formalmente a Autoridade. Ele também se expressa na capacidade econômica de tornar determinadas decisões mais custosas do que outras. A concentração da riqueza amplia essa assimetria e contribui para preservar as condições em que a própria riqueza continua sendo produzida.

6.4.3.3 Ciclo Econômico-Ecológico

O terceiro ciclo corresponde a outro aspecto da configuração analisada. Ele mostra como as condições ecológicas interferem na economia e, por meio das mudanças produzidas nessa modalidade, retornam sobre a Autoridade. A relação entre economia e ambiente, portanto, não se encerra no momento da extração do recurso ou da produção do impacto, as condições re-

[710] Milanez et al., 2015.

sultantes passam a interferir novamente nas relações de autoridade que organizam a atividade.

A Relação Ecológica estabelece as condições ambientais nas quais diferentes atividades econômicas podem existir. Quando essa relação é orientada predominantemente pela exploração dos recursos e pela posterior mitigação dos impactos, alterações no solo, na água e nos ecossistemas podem comprometer atividades que dependem diretamente dessas condições.

Foi o que ocorreu com a pesca, a agricultura, o turismo e outras atividades atingidas pelos rompimentos. A degradação dos rios Doce e Paraopeba comprometeu condições necessárias à realização de trabalhos e à circulação econômica que articulava diferentes atividades locais. A perda dos peixes afetou a pesca; a contaminação da água e do solo atingiu atividades agropecuárias; a redução do turismo repercutiu sobre estabelecimentos comerciais e serviços que dependiam da circulação de visitantes.

Essa relação entre mineração e diversificação econômica também antecede os rompimentos. A presença de uma atividade minerária de grande escala concentra trabalho, infraestrutura, investimentos e circulação de renda em torno de uma estrutura produtiva especializada. Nesse contexto, outras atividades econômicas encontram maior dificuldade para se desenvolver e ocupar posição equivalente. A concentração das oportunidades em torno da mineração pode, assim, restringir a percepção, o desenvolvimento e a continuidade de outras possibilidades econômicas, produzindo uma espécie de cegueira vocacional nos municípios estudados. A agroecologia, a pequena agricultura, a pesca, o turismo e outras atividades passam a encontrar menos espaço para se consolidar como alternativas capazes de reduzir a dependência da mineração.[711]

A Relação Ecológica interfere, assim, na Apropriação da Riqueza. Quando determinadas atividades deixam de produzir ou de fazer circular recursos, a estrutura econômica local se modifica e cria um cenário de dependência. Essa dependência, por

[711] Pronzato e Pontone, 2019; Ladeira et al., 2023.

sua vez, retorna à Autoridade. Quanto maior o peso econômico de uma determinada atividade, maior tende a ser o impacto econômico e político de decisões que restrinjam sua continuidade. A Autoridade passa, novamente, a definir as condições institucionais da relação entre o empreendimento e o ambiente, incluindo as condições de exploração, fiscalização e controle dos impactos.

O ciclo se fecha quando essas decisões estabelecem novas condições para a Relação Ecológica, que produzirão novamente efeitos sobre a economia. A forma como a atividade minerária se relaciona com o ambiente interfere nas condições de produção e circulação de riqueza; essas transformações modificam a dependência econômica; e essa dependência interfere nas decisões de Autoridade que voltarão a condicionar a relação com o ambiente.

O vínculo entre economia e ambiente, portanto, constitui um processo de retroalimentação. As condições ecológicas sustentam atividades econômicas e formas de geração de riqueza, enquanto as decisões que organizam a exploração dos recursos transformam essas mesmas condições e repercutem novamente sobre a economia e a Autoridade.

6.4.3.4 Ciclo de Enfraquecimento Comunitário

Este ciclo evidencia uma dinâmica em que a própria Organização Social é afetada pelas relações econômicas e ecológicas que estruturam a atividade minerária. Seu ponto de partida é a capacidade de organização coletiva e seu fechamento ocorre quando as transformações econômicas produzidas pela relação com o ambiente repercutem novamente sobre essa capacidade.

A Organização Social interfere na Autoridade porque uma comunidade organizada possui melhores condições para reconhecer problemas comuns, formular reivindicações e exercer pressão sobre as instituições que tomam decisões sobre a atividade minerária. Quando essa capacidade é limitada, a Autori-

dade permanece mais concentrada nas estruturas burocráticas empresariais e governamentais que controlam essas decisões.

A Autoridade, por sua vez, define as condições da Relação Ecológica. Quando os mecanismos de participação e controle comunitário possuem pouca capacidade de influenciar essas decisões, torna-se mais difícil modificar uma relação ecológica orientada predominantemente pela exploração dos recursos e pela mitigação dos impactos.

Os efeitos dessa relação retornam sobre a Apropriação da Riqueza. A degradação ambiental compromete atividades base da economia local, reduzindo as possibilidades de produção e sustentabilidade da própria comunidade. A perda dessas atividades diminui as formas de geração de renda vinculadas à economia local e aumenta a dependência em relação às estruturas econômicas que permanecem disponíveis e que, nos casos analisados, estão fortemente associadas à mineração e aos mecanismos institucionais de reparação.

O enfraquecimento da Organização Social também ocorreu pela transformação das condições materiais de convivência. A supressão de vias e espaços públicos reduziu os lugares de encontro e contribuiu para o enfraquecimento dos laços comunitários em Brumadinho. Em Córrego do Feijão, a utilização de espaços coletivos como bases das operações de resgate produziu entre os moradores a percepção de invasão e levou alguns deles a evitar esses locais. A perda ou a interrupção dos espaços de convivência altera, assim, as condições concretas em que relações de vizinhança, práticas compartilhadas e formas de pertencimento são mantidas.

Desse modo, o enfraquecimento comunitário ocorre por diferentes vias. A perda das atividades econômicas reduz práticas e relações associadas ao sustento e à vida cotidiana, enquanto a perda dos espaços de convivência reduz as oportunidades de encontro e ação coletiva. Esses processos convergem para uma mesma consequência: a redução das condições sociais que permitem à comunidade organizar-se e exercer influência sobre as decisões que afetam sua vida.

O enfraquecimento produzido pela perda das atividades econômicas também pode ser percebido nos próprios trabalhadores que delas dependiam. Entre os pescadores, a interrupção do trabalho no rio aparece associada à perda das condições que sustentavam sua própria rotina:

> Adoeceu o povo por falta de exercício, por falta de comer a proteína do peixe que a vida toda eu comia. O pescador tá criando barriga, tá ficando com pressão alta porque não tem atividade física, porque não faz o seu trabalho. Eu não tinha esse barrigão, não tinha! Eu engordei trinta quilos, mas só tenho barriga, meus braços são sequinhos, minhas pernas são secas. Automaticamente, veio também diabetes e triglicérides. A pessoa que tinha uma vida, que todo dia nadava, batia enxada, dava um mergulho lá, saía de dentro da água... Umas braçadas na água para tirar o suor e voltava a capinar mais um bocado...[712]

Outro pescador relata consequência semelhante:

> Tonteava, engordei 28 kg. Todo pescador é dependente de remédio. Vários pescadores adoeceram: diabetes, pressão alta… Eu estou há cinco anos parado; pressão alta, diabete, quase morri. Entrei em depressão. Mudou tudo.[713]

Esses relatos individuais encontram respaldo em dados de pesquisa mais ampla. A Pesquisa sobre a Saúde Mental das Famílias Atingidas pelo Rompimento da Barragem do Fundão (PRISMMA) identificou, entre a população atingida por Mariana, uma prevalência de dependência de álcool de 5,8% e de dependência de tabaco de 20%, ambas superiores às da população geral, além de maior prevalência de comportamento suicida entre os atingidos.[714] Esse quadro sugere que o enfraquecimento comunitário descrito neste ciclo não é apenas relacional

---

712 Fraga et al., 2025, p. 83.
713 Ibidem.
714 Cavalcante, 2023.

— é também corporal e clínico: a perda das condições materiais de trabalho e sustento se converte, para parte da população, em adoecimento físico e mental mensurável, o que aprofunda ainda mais a redução da capacidade de ação coletiva discutida a seguir.

O enfraquecimento da comunidade encontra, assim, uma expressão correspondente no corpo dos próprios trabalhadores que dependiam dessas atividades. À medida que desaparecem as formas de sustento produzidas diretamente pelos moradores, também se deterioram as condições que sustentavam sua vida cotidiana, sua autonomia e a capacidade de prover a própria família e contribuir para a comunidade.

O ciclo se fecha quando esse enfraquecimento reduz novamente a capacidade da comunidade de influenciar a Autoridade. A perda das atividades econômicas e das relações que as acompanhavam diminui as condições para a ação coletiva; uma organização social mais fragilizada encontra maiores dificuldades para interferir nas decisões que definem a relação com o ambiente; e essas decisões podem produzir novas alterações ecológicas e econômicas que aprofundam o processo.

Trata-se, portanto, de um ciclo no qual a deterioração das condições ecológicas atinge simultaneamente a produção de riqueza e as relações sociais que sustentavam a vida comunitária. A perda de atividades econômicas pode produzir dependência, e a dependência pode enfraquecer as condições para a organização coletiva. Com isso, a comunidade passa a dispor de menos recursos sociais e econômicos para interferir sobre as decisões que contribuem para a reprodução dessa configuração.

6.4.3.5 Ciclo Sistêmico Principal

Os quatro ciclos anteriores permitem identificar diferentes mecanismos de retroalimentação dentro da configuração analisada. Cada um evidencia um problema específico: a reprodução da dependência institucional, a concentração de poder, a redução das alternativas econômicas associada à relação ecoló-

gica e o enfraquecimento da organização comunitária. O ciclo sistêmico principal reúne esses movimentos em uma única sequência e mostra como esses problemas se articulam e passam a sustentar uns aos outros.

A Autoridade organiza o Trabalho ao estabelecer as condições institucionais e produtivas em que a atividade minerária será realizada. Na mineração convencional, essa organização concentra oportunidades de trabalho e capacidade produtiva em uma estrutura empresarial especializada. O Trabalho participa, então, da produção de riqueza cuja apropriação permanece concentrada entre os agentes que controlam os meios de produção e os resultados da atividade.

A concentração da riqueza produz dependência. Quando emprego, renda, receitas públicas e circulação econômica passam a depender fortemente da mineração, outras atividades encontram maiores dificuldades para ocupar posição equivalente. A economia local passa a se organizar em torno da atividade minerária, enquanto a comunidade dispõe de menos alternativas para construir uma posição independente diante dela. A dependência econômica interfere, assim, na Organização Social e reduz as condições para uma ação coletiva capaz de questionar ou modificar a estrutura existente.

Uma Organização Social com menor capacidade de ação coletiva encontra maiores dificuldades para influenciar a Autoridade. As decisões permanecem mais concentradas nas estruturas empresariais e governamentais que controlam as condições de funcionamento da atividade. A Autoridade, por sua vez, define as condições da Relação Ecológica por meio das regras de exploração, fiscalização, segurança e controle dos impactos.

Os efeitos dessa relação retornam sobre a economia. A alteração das condições ecológicas compromete atividades como pesca, agricultura, turismo e outras formas locais de produção e circulação de riqueza. A perda dessas atividades reduz as alternativas econômicas disponíveis e aprofunda a dependência

em relação às estruturas que permanecem, especialmente a mineração e os mecanismos institucionais de reparação.

A dependência reforça novamente a influência da riqueza sobre a Autoridade. Quanto maior a importância econômica da atividade minerária, maior o custo político e econômico de decisões que possam restringi-la. A riqueza concentrada adquire, assim, capacidade de influenciar as condições institucionais de sua própria produção e apropriação.

O circuito completo pode ser resumido da seguinte maneira: a Autoridade organiza o Trabalho; o Trabalho participa da produção de riqueza; a riqueza é apropriada de forma concentrada; a concentração interfere na Organização Social; uma Organização Social fragilizada encontra maiores dificuldades para influenciar a Autoridade; a Autoridade define as condições da Relação Ecológica; as transformações ecológicas atingem atividades econômicas e reduzem as alternativas disponíveis; e a dependência econômica resultante reforça novamente a influência da riqueza sobre a Autoridade.

A leitura conjunta dos quatro ciclos permite identificar quatro problemas centrais na configuração analisada. O primeiro é a dependência institucional, que se estabelece quando a economia local passa a depender da continuidade da atividade minerária e, com isso, reduz as condições para modificar a estrutura que a sustenta. O segundo é a concentração de poder, expressa na capacidade da riqueza concentrada de aumentar o custo político e econômico de decisões que possam restringir a atividade. O terceiro é a redução da diversificação econômica, reforçada pela degradação das condições ecológicas e pela perda de atividades que poderiam constituir alternativas à dependência da mineração. O quarto é o enfraquecimento da organização comunitária, produzido pela perda de atividades, relações e condições de vida que sustentavam a ação coletiva e que, uma vez enfraquecidas, reduzem novamente a capacidade de influência sobre as decisões.

A leitura encontrada nos casos analisados também converge com interpretações que identificam uma relação estrutural en-

tre a atividade minerária, as instituições responsáveis por regulá-la e os processos de reparação dos danos. Em análise comparativa dos rompimentos de Fundão, em Mariana, e da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, Laschefski[715] identifica elementos comuns relacionados ao licenciamento ambiental e à gestão da reparação dos danos. O autor interpreta esse processo como a constituição de uma "cultura do neocoronelismo nos sistemas de segurança", marcada pelo fortalecimento dos interesses empresariais diante das demandas das vítimas, e identifica também formas de ampliação do controle sobre as áreas afetadas por meio do que denomina "grilagem oculta de terras". A partir dessa análise, Laschefski relaciona os desastres a processos de "acumulação por despossessão".

Essa interpretação contribui para compreender que os efeitos dos desastres não se limitam à perda imediata de vidas, bens e atividades econômicas. Os mecanismos institucionais e econômicos mobilizados antes e depois dos rompimentos podem contribuir para a manutenção ou ampliação das assimetrias existentes entre empresas, instituições públicas e comunidades afetadas.

Esses problemas aparecem de forma articulada na experiência dos moradores. O depoimento de um morador da Colônia Santa Isabel, em Betim, comunidade atingida pelos efeitos do rompimento da barragem de Córrego do Feijão, em Brumadinho, reúne diferentes dimensões dessa configuração em uma única experiência:

> ...acabou o sonho da gente né...não pescamos mais...a gente tinha orgulho de falar que morava perto do rio. eu prefiro muito mais o rio vivo do que receber este emergencial... Eu tenho um sentimento de perda,de impotência….o meu projeto acabou tudo, eu ia construir uma casa para minha filha lá e ela não quer mais morar perto do rio. Todos os filhos falam pra eu vender e sair de lá, acabou o meu sonho...meu projeto de vida de morar lá e viver perto da Colônia onde meus pais moraram e vive-

[715] Laschefski, 2020.

> ram por muitos anos. Agora com 59 anos vou ter que mudar o meu projeto de vida. Tinha verduras na comunidade, porco, gado...acabou tudo...está cercado...os cachorros não podem beber água. Está vindo muita coisa de epidemia, dengue, coceira de pele, manchas na pele isso tudo depois da tragédia do rompimento da barragem. A minha maior preocupação agora é o que está por vir...agente não sabe se vai vir uma epidemia de saúde. A maior preocupação agora é a escola, os internos da Colônia Santa Isabel, as pessoas moradoras do local e os trabalhadores. Estou pensando muito o que vem a ser dos meninos de agora pra frente com essa tragédia do rio. As professoras pegar alguma doença psicológica, a minha maior preocupação é a comunidade, as pessoas.

O depoimento mostra como uma alteração ecológica pode atingir simultaneamente o sustento produzido diretamente pelo morador, as atividades econômicas locais, os projetos de vida, as relações familiares e a própria permanência da comunidade. A perda do rio como condição de vida repercute sobre a produção e a circulação de riqueza; essas perdas alteram as expectativas das famílias e as relações comunitárias; e a redução das alternativas disponíveis amplia a dependência em relação às estruturas econômicas e institucionais que permanecem.

A principal contribuição da leitura sistêmica dos casos de Mariana e Brumadinho está, portanto, em deslocar a análise dos acontecimentos isolados para a configuração que os produz. Uma decisão inadequada, uma falha de fiscalização, uma forma concentrada de organização do Trabalho, a apropriação da riqueza, o enfraquecimento da Organização Social e a degradação ambiental aparecem como manifestações de relações que se articulam e produzem condições para sua própria continuidade. A questão deixa de ser apenas identificar por que determinada decisão falhou e passa a ser compreender como uma configuração que dispõe de instituições responsáveis pela segurança, pela regulação e pelo bem-estar das comunidades continua produzindo resultados contrários a essas finalidades.

Essa mudança de perspectiva é central para o pensamento sistêmico. O comportamento observado não é explicado apenas pelas ações ou falhas de seus componentes isolados, mas pela maneira como eles estão organizados e pelas relações que estabelecem entre si. Nos casos analisados, o desastre constitui uma manifestação extrema de uma configuração que vinha sendo construída historicamente. Seus efeitos alcançam simultaneamente a economia, a Organização Social, o Trabalho, as condições ecológicas e as estruturas de Autoridade, produzindo novas condições que retornam sobre o próprio sistema. A análise dos ciclos permite, assim, compreender como essas relações se reforçam ao longo do tempo e identificar os pontos em que a dinâmica do sistema precisa ser modificada.

Essa perspectiva também amplia a compreensão do tempo. A atividade mineral é finita, enquanto as relações econômicas, sociais e institucionais construídas em torno dela podem permanecer depois que a exploração diminuir ou terminar. Quando a diversificação não se desenvolve durante o período de exploração, a exaustão do minério pode encontrar uma economia ainda dependente dos mesmos fluxos de emprego, renda, arrecadação e consumo. A dependência, portanto, pode permanecer mesmo quando a exploração mineral diminui ou chega ao fim, caso a economia e as instituições locais continuem organizadas em torno das relações construídas durante o período de exploração.

Do mesmo modo, os efeitos produzidos pelos empreendimentos minerários podem permanecer depois do momento do desastre. Comunidades que convivem com barragens remanescentes podem continuar submetidas à insegurança e à possibilidade de novos deslocamentos, enquanto os danos ecológicos e econômicos podem persistir por períodos prolongados. A experiência do desastre passa, assim, a integrar a própria condição de habitar esses lugares.

O ciclo sistêmico principal permite, finalmente, reconhecer que a configuração identificada nos casos analisados possui mecanismos internos de reprodução. Enquanto esses mecanis-

mos permanecerem articulados, intervenções isoladas podem modificar determinados efeitos sem alterar a dinâmica que os produz. Compreender os ciclos, portanto, permite deslocar a análise da correção de problemas específicos para a identificação das relações que precisam ser transformadas.

A partir dessa análise, torna-se possível avançar para a questão de como a atividade minerária pode ser organizada segundo outra configuração, capaz de estabelecer relações diferentes entre Autoridade, Trabalho, Apropriação da Riqueza, Organização Social e Relação Ecológica.

6.5 Rumo a uma Mineração de Escala Comunitária

Os resultados da reconstrução empírica realizada na seção anterior permitem compreender com maior precisão a configuração predominante da mineração contemporânea convencional. Os casos de Mariana e Brumadinho revelam um conjunto recorrente de relações entre Autoridade, Trabalho, Apropriação da Riqueza, Organização Social e Relação Ecológica, responsável tanto pela dependência dos municípios mineradores quanto pela vulnerabilidade das comunidades afetadas. Contudo, a questão que permanece em aberto, é se essa configuração constitui uma característica inerente da atividade minerária ou apenas uma entre diferentes formas possíveis de organizá-la.

A revisão bibliográfica desenvolvida nesta seção sugere que a segunda hipótese é mais adequada. Embora predominem modelos de mineração baseados na centralização das decisões, na concentração da riqueza e na participação limitada das comunidades locais, diversos autores e algumas experiências concretas apontam para outras possibilidades de organização da atividade. Mais do que propor um modelo acabado, essa literatura permite compreender quais princípios favorecem o fortalecimento da capacidade comunitária e quais tendem a reproduzir vulnerabilidade e relações de dependência. É a partir desse diálogo entre evidências empíricas e reflexão teórica que este capítulo desenvolve a proposta de uma mineração de escala comunitária.

O valor econômico gerado pela mineração e sua contribuição para a arrecadação pública constituem critérios frequentemente utilizados para justificar a atividade minerária. Contudo, uma avaliação mais ampla exige considerar também seus efeitos sobre a vida comunitária, a autonomia local e a capacidade de autogoverno dos territórios onde ela se desenvolve. Essa ampliação do horizonte analítico é uma consequência direta das reflexões desenvolvidas desde a seção 6.2. Se a legitimidade de um empreendimento não se esgota na adoção de tecnologias mais seguras ou de melhores práticas de gestão, ela precisa ser buscada na qualidade das relações que o empreendimento estabelece com o território e com as comunidades que nele vivem. Sob essa perspectiva, a mineração passa a ser avaliada, além de sua capacidade de gerar lucros, receitas de exportação e remuneração aos acionistas ou de reduzir riscos, por seus efeitos sobre a viabilidade histórica, social e ambiental das comunidades locais. O restante desta seção apresenta, em caráter exploratório, alguns elementos de uma possível abordagem comunitária da mineração.

6.5.1 A Comunidade como Sujeito Político

Em grande parte da literatura sobre mineração e desenvolvimento, a comunidade aparece principalmente como destinatária de compensações, medidas de mitigação de impactos ou programas de responsabilidade social corporativa. Essa posição decorre de uma organização econômica na qual as decisões sobre investimentos, produção e uso dos recursos permanecem concentradas em estruturas externas. Milton Santos observa que a globalização tende a transformar os lugares em simples pontos de passagem dos fluxos econômicos.[716] A mineração expressa essa lógica ao inserir os lugares de extração em fluxos econômicos que os ultrapassam, reduzindo a participação das comunidades nas decisões sobre a própria atividade.

Deanna Kemp, ao revisar duas décadas de práticas de “desenvolvimento comunitário” na mineração, mostra que, mesmo

[716] Santos, 2000.

quando as empresas adotam a linguagem da participação, a "comunidade" costuma ser definida pela própria mineradora em termos geográficos e homogêneos. A definição do que conta como desenvolvimento também permanece, em grande medida, sob controle de quem financia o programa.[717] Kemp cita a definição do próprio setor — "o processo de aumentar a força e a eficácia das comunidades, […] permitindo que as pessoas participem da tomada de decisão para alcançar maior controle sobre suas vidas a longo prazo"[718] — apenas para mostrar a distância entre essa retórica e a prática observada. Nesses casos, a participação se aproxima dos níveis inferiores da escala de Arnstein, associados à consulta formal, e permanece distante do compartilhamento efetivo das decisões.[719]

A dinâmica descrita por Kemp no campo da mineração guarda forte correspondência com uma estrutura identificada décadas antes por John McKnight nos sistemas de serviço profissionalizado em geral[720]. Segundo McKnight, esses sistemas transformam a pessoa atendida em cliente ao pressupor três ideias: ela é deficiente, ela é o problema e nós, os profissionais, somos a resposta.[721] O mesmo mecanismo aparece quando uma empresa define o "desenvolvimento comunitário" nos termos do programa que financia. A comunidade deixa de formular suas próprias necessidades e passa a receber uma resposta previamente definida pela própria empresa.

---

[717] Kemp, 2009.

[718] The World Bank e ICMM, 2005, p. 7, apud Kemp, 2009, p. 206, tradução nossa.

[719] Arnstein, 1969, apud Kemp, 2009, p. 204.

[720] McKnight utiliza a expressão "sistemas de serviço profissionalizado" para designar o conjunto de instituições e serviços organizados em torno de profissionais especializados que identificam necessidades, definem problemas e oferecem soluções para as pessoas atendidas. Sua crítica é dirigida à tendência desses sistemas de substituir capacidades existentes nas comunidades por serviços externos, fazendo com que os indivíduos passem a depender da intervenção profissional para responder a necessidades que antes podiam ser enfrentadas por relações, conhecimentos e recursos comunitários (McKnight, 1995).

[721] McKnight, 1995.

A perspectiva comunitária aqui proposta parte de uma inversão dessa lógica. A comunidade deixa de ser compreendida como uma variável a ser gerenciada pelo empreendimento e passa a ser reconhecida como sujeito político, cuja participação deve estender-se à definição dos rumos do projeto, das prioridades de investimento social e dos mecanismos de monitoramento dos impactos. As comunidades deixam também de ser meras receptoras de indenizações ou participantes de projetos sociais destinados a mitigar danos já produzidos e passam a participar das decisões que definem as condições da própria atividade. Como observa Robert Jennings, citado por Kemp, "acreditar e promover o desenvolvimento participativo é acreditar na importância intrínseca da autodeterminação."[722]

Essa é precisamente a questão colocada pelo princípio do Consentimento Livre, Prévio e Informado (*Free, Prior and Informed Consent* – FPIC), um dos conceitos mais debatidos na literatura sobre mineração e comunidades. Em suas formulações mais exigentes na literatura internacional, o princípio desloca a discussão da mera consulta para a autodeterminação, levantando a questão sobre até que ponto uma comunidade possui legitimidade para aceitar, condicionar ou mesmo recusar a implantação de um empreendimento em seu território.[723]

A defesa do Consentimento Livre, Prévio e Informado não se limita, entretanto, à exigência de consulta. Diversos movimentos eclesiais e organizações da sociedade civil vinculados à *Campaña de Desinversión en Minería* (Campanha de Desinvestimento em Mineração)[724] insistem que o consentimento só possui significado real quando inclui a possibilidade efetiva de

[722] Jennings, 2000, p. 2, apud Kemp, 2009, p. 211, tradução nossa.

[723] Kemp, 2009, p. 211.

[724] A *Campaña de Desinversión en Minería* é uma iniciativa internacional apoiada por organizações eclesiais e da sociedade civil que defende a retirada de investimentos financeiros do setor mineral em resposta aos impactos socioambientais e às violações de direitos humanos associadas ao extrativismo. Inspirada por princípios da ecologia integral, a campanha promove a solidariedade com comunidades afetadas pela mineração e reivindica maior autonomia dos povos sobre seus territórios.

recusa. Nessa perspectiva, o direito de participação perde seu sentido se a comunidade estiver autorizada apenas a discutir as condições de implantação de um empreendimento cuja realização já foi previamente decidida por outros. O princípio central deixa de ser a consulta e passa a ser a autodeterminação dos povos e comunidades sobre os territórios que habitam.

Poucos autores formularam essa questão de maneira tão incisiva quanto Wendell Berry. Embora sua crítica tenha sido desenvolvida no contexto da agricultura industrial, seus argumentos podem ser estendidos à mineração porque seu foco não recai sobre uma técnica específica, mas sobre o tipo de relação que uma atividade econômica estabelece com o lugar onde ocorre. Berry contrapõe a figura do explorador, orientado pela eficiência e a serviço de instituições distantes, à do cuidador, comprometido com a terra, a comunidade e as responsabilidades decorrentes de sua permanência no lugar.[725]

Berry sugere que a diferença entre exploração e cuidado não pode ser compreendida apenas pelos resultados econômicos produzidos por uma atividade, mas pelos efeitos que ela exerce sobre o lugar e sobre a comunidade que nele vive. A partir dessa perspectiva, torna-se pertinente perguntar se um empreendimento contribui para fortalecer ou enfraquecer a comunidade local. Essa questão desloca a atenção dos impactos considerados isoladamente para os efeitos mais amplos da atividade econômica sobre a capacidade da comunidade de manter sua continuidade ao longo do tempo. Contudo, responder a essa questão exige critérios que permitam compreender de forma integrada os diferentes aspectos da vida comunitária. Os princípios discutidos nas seções seguintes são apresentados justamente como uma contribuição para essa tarefa.

6.5.2 Experiências de Governança Comunitária na Mineração

Embora as discussões anteriores possuam um caráter normativo, elas não surgem apenas de formulações teóricas. A li-

[725] Berry, 2015a.

teratura sobre mineração registra diversas tentativas de ampliar a participação das comunidades locais na gestão dos recursos e dos territórios onde vivem. Essas experiências raramente oferecem exemplos inequívocos de governança comunitária bem-sucedida. Sua principal contribuição está justamente em revelar as tensões, ambiguidades e limites envolvidos na construção de arranjos mais participativos, ajudando a esclarecer por que a questão formulada por Berry — se uma atividade econômica fortalece ou enfraquece a comunidade local — não pode ser respondida apenas pela existência de mecanismos formais de participação.

A literatura sobre mineração artesanal e de pequena escala (ASM, na sigla em inglês), embora frequentemente associada à informalidade, documenta arranjos de propriedade distribuída e controle local que raramente aparecem no debate sobre grande mineração. Em partes do Brasil e da Venezuela, garimpeiros organizam-se em cooperativas de mineração artesanal de diamantes primariamente para assegurar acesso às terras mineralizadas — uma forma de propriedade coletiva construída de baixo para cima, e não concedida por uma empresa.[726] Christopher Huggins e seus colaboradores insistem em tratar o garimpeiro não como um problema de informalidade a ser "formalizado", mas como sujeito dotado de agência dentro de hierarquias desiguais de poder[727] — exatamente o deslocamento que proponho aqui para a grande mineração.

Um caso brasileiro concreto ilustra esse tipo de arranjo em funcionamento — e também seus limites. A Cooperativa dos Garimpeiros do Vale do Rio Peixoto (Coogavepe), fundada em 2007 por 23 garimpeiros em Peixoto de Azevedo (MT), reúne hoje milhares de cooperados em oito municípios e é apontada, por estudo acadêmico recente, como caso de sucesso na articulação entre legalização, gestão ambiental e desenvolvimento local. Em três anos, a arrecadação de CFEM nas áreas sob sua abrangência cresceu 135%, e a cooperativa mantém equipe téc-

[726] Huggins, 2020, p. 8.
[727] Huggins, 2020, p. 3-5.

nica própria dedicada à recuperação ambiental das áreas lavradas — reflorestamento, piscicultura e agricultura substituindo, ao final do ciclo produtivo, a atividade extrativa original.[728] Ainda assim, o caso apresenta limitações importantes. A cooperativa depende, ao menos em parte, de recursos externos para viabilizar algumas de suas atividades. A Anglo American Níquel Brasil, por exemplo, financia, por meio de uma consultoria terceirizada, o viveiro de mudas utilizado na recuperação ambiental da área minerada. Essa dependência não invalida os avanços alcançados pela Coogavepe, mas evidencia uma tensão recorrente em iniciativas desse tipo. Mesmo quando a atividade produtiva é organizada localmente, sua continuidade pode permanecer condicionada ao apoio de atores externos. O caso demonstra que formas mais participativas e enraizadas de mineração são possíveis, mas também que a construção de maior autonomia comunitária é um processo gradual e frequentemente incompleto.

Um caso recente frequentemente citado como exemplo de participação comunitária na mineração é o da governança do lítio no Salar de Atacama, no Chile. Em dezembro de 2025, a estatal Codelco e a mineradora SQM formalizaram, por meio da nova sociedade NovaAndino Litio, a associação destinada à continuidade da exploração de lítio no salar. O modelo de governança desenvolvido no processo prevê mecanismos de acompanhamento ambiental, reuniões regulares com as comunidades, participação nos benefícios econômicos e um Conselho Consultivo Indígena vinculado ao acompanhamento das questões ambientais. O processo envolveu diferentes comunidades atacamenhas e ainda permanecia em desenvolvimento em 2026. Como antecedente relevante, desde 2016 a Albemarle mantém um acordo de cooperação, sustentabilidade e benefício mútuo com o *Consejo de Pueblos Atacameños* e as 18 comunidades que o integram, destinando anualmente 3,5% das vendas às comunidades.[729]

---

[728] Santos e Ribeiro, 2024.

[729] Albemarle, s. d.; Codelco, 2025.

Apesar desses avanços institucionais, o caso tem sido objeto de críticas significativas. Pesquisadores documentam tensões e divisões entre as próprias comunidades lickanantay, e ao menos uma análise acadêmica recente descreve o modelo de "valor compartilhado" como uma forma de "neopaternalismo", na qual a participação comunitária permanece subordinada aos interesses da mineração em vez de ampliar efetivamente a soberania territorial indígena. O caso do Atacama é relevante justamente porque evidencia os limites da participação institucionalizada. Mecanismos de consulta, repartição de benefícios e representação formal podem ampliar a influência das comunidades sem, necessariamente, lhes conferir controle significativo sobre os rumos do desenvolvimento de seus territórios.

Um segundo caso ajuda a ampliar essa advertência, mostrando que ela não é peculiaridade do contexto chileno. O Acordo Raglan, firmado em 1995 entre a mineradora Raglan (hoje controlada pela Glencore) e comunidades Inuit de Nunavik, no norte do Quebec, é um dos primeiros acordos de impacto e benefício entre uma mineradora e um povo indígena no Canadá, e segue em vigor três décadas depois. O acordo vincula contratualmente a empresa a partilha de lucros, prioridade de emprego e capacitação para trabalhadores Inuit, preferência a empresas Inuit na contratação de serviços e visitas comunitárias anuais à mina como mecanismo formal de transparência.[730]

Passados trinta anos, a folha de pagamento a trabalhadores Inuit chega a US$18 milhões anuais, e empresas Inuit respondem por um quarto dos serviços contratados pela mina. À primeira vista, esses números sugerem um modelo bem-sucedido de participação; examinados com mais atenção, revelam a mesma limitação estrutural do caso chileno, apenas mais discreta por sua longevidade. Prioridade de emprego, capacitação e preferência na contratação são benefícios concedidos pela empresa à comunidade — não atividades da comunidade sobre a mina. A relação contínua sendo de dependência, ainda que uma dependência mais estável, mais generosa e contratualmen-

[730] Glencore Canada, 2025; Gallant, 2025.

te garantida do que a produzida por um desastre como Brumadinho. A Raglan segue sendo propriedade e decisão da Glencore; os Inuit seguem sendo beneficiários de um arranjo que a empresa concebeu, negociou e pode, em princípio, reconfigurar. É um paternalismo mais bem-sucedido do que a maioria, mas paternalismo ainda — o oposto exato da titularidade comunitária que este capítulo defende.

Esse padrão não é peculiaridade chilena ou canadense — reaparece, com variações de intensidade, em praticamente todo estudo de caso latino-americano sobre indústrias extrativas. Na fronteira de gás do Chaco boliviano, o Estado descreve sistematicamente suas interações com o povo Guarani como "consultas", seguindo as convenções do Banco Mundial, em vez do padrão mais exigente de consentimento livre, prévio e informado — direito que a Declaração das Nações Unidas sobre os Direitos dos Povos Indígenas (UNDRIP) garante aos povos indígenas, e da qual a própria Bolívia é signatária.[731] No Equador, a moratória de mineração de 2008 — aprovada pela Assembleia Constituinte após intensa mobilização popular, suspendendo mais de quatro mil concessões e revertendo ao Estado aquelas obtidas sem consulta comunitária — pareceu, num primeiro momento, uma vitória rara e genuína dos críticos da mineração. Jennifer Moore e Teresa Velasquez observam, porém, que "mesmo enquanto os críticos da indústria mineradora se sentiam vitoriosos, forças poderosas atuavam nos bastidores para restaurar o *status quo*".[732]

No Peru, o padrão se manifestou de forma mais violenta. Em 2009, no episódio que ficou conhecido como Bagua, ao menos onze manifestantes indígenas foram mortos pelo Estado durante protestos contra decretos que abriam terras amazônicas à exploração de petróleo e mineração sem consulta prévia — evento que Orihuela e Thorp descrevem como "emblemático de padrões mais amplos de descontentamento e repressão go-

[731] Bebbington, 2012.
[732] Bebbington, 2012, p. 204, tradução nossa.

vernamental".[733] Três países, três registros distintos — a consulta esvaziada de conteúdo, a vitória política silenciosamente revertida, a repressão aberta —, mas o mesmo resultado estrutural: a lacuna entre consultar e consentir não é uma falha pontual de um caso ou de um país, é uma característica recorrente da forma como o Estado latino-americano medeia, ou deixa de mediar, o conflito entre capital extrativo e comunidades locais.

As experiências discutidas acima ajudam a relativizar uma premissa frequentemente presente nos debates sobre mineração, a de que apenas grandes corporações ou agências estatais centralizadas seriam capazes de administrar recursos complexos. Nenhum dos casos examinados oferece um exemplo acabado de governança comunitária. Todos apresentam limitações importantes, seja pela persistência de relações de dependência, seja pela distância entre participação e autodeterminação. Ainda assim, eles revelam que comunidades locais são capazes de organizar instituições próprias, negociar condições de exploração, monitorar atividades produtivas e influenciar decisões que afetam seus territórios. A pesquisa de Elinor Ostrom[734] sobre recursos de uso comum mostrou que comunidades locais, quando dispõem de autonomia suficiente, são capazes de desenvolver regras próprias de monitoramento, resolução de conflitos e gestão coletiva.

6.5.3 O Princípio da Escala Humana e da Subsidiariedade

As experiências discutidas na seção anterior mostram tanto as possibilidades quanto os limites da participação comunitária na mineração. Elas sugerem que comunidades podem se organizar, negociar e influenciar decisões sobre seus territórios, mas também que essa capacidade não se manifesta automaticamente nem produz os mesmos resultados em todas as circunstâncias. A contribuição de Ostrom sobre a governança de recursos de uso comum chama atenção justamente para esse pon-

[733] Bebbington, 2012, p. 40, tradução nossa.
[734] Ostrom, 1990.

to. O sucesso da ação coletiva na gestão de tais recursos, entre os quais se inclui a mineração, depende de determinadas condições organizacionais.[735] Entre essas condições, ocupa lugar central a escala em que as decisões e responsabilidades são organizadas. É justamente a partir dessa questão que se desenvolve o debate sobre escala humana e subsidiariedade.

O economista E. F. Schumacher dedicou boa parte de sua obra mais conhecida, O Grande Negócio é Ser Pequeno, a essa questão. Sua resposta está longe de ser uma defesa ingênua de organizações menores em qualquer circunstância. O que ele questiona é a tendência moderna de tratar a expansão como um fim em si mesmo. Para Schumacher, a questão central é definir qual escala é mais adequada às finalidades humanas que uma atividade pretende servir. A idolatria do crescimento e do gigantismo, argumenta ele, leva indivíduos e instituições a formular perguntas equivocadas sobre a própria organização das atividades.[736]

Schumacher encontrou parte dessa ideia na doutrina social católica da subsidiariedade, citando a encíclica *Quadragesimo Anno*:

> É uma injustiça, e ao mesmo tempo um mal grave e uma perturbação da ordem correta, atribuir a uma organização maior e superior algo que pode ser feito por organizações menores e subordinadas. Isso porque toda atividade social deve, por natureza, fornecer ajuda aos membros do corpo social, sem jamais destruí-los ou absorvê-los.[737]

A subsidiariedade introduz, assim, um critério de escala. As decisões devem permanecer próximas das pessoas sempre que uma unidade menor tiver condições de realizá-las adequadamente. A questão da escala deixa de ser, portanto, apenas uma escolha de tamanho e passa a envolver a capacidade de uma organização de manter as pessoas efetivamente participantes

[735] Ibidem.
[736] Schumacher, 2010.
[737] Pio XI, 1931, apud Schumacher, 2010, p. 260, tradução nossa.

das decisões que afetam suas vidas. É justamente nesse ponto que a discussão sobre escala se aproxima do problema do tamanho das organizações.

Daly e Cobb chegam à mesma conclusão a partir de premissas de teoria econômica:

> Uma comunidade política não pode ser saudável se não puder exercer controle significativo sobre sua vida econômica. […] Poder deveria estar localizado o mais próximo possível das pessoas, isto é, nas menores unidades viáveis. […] Poder político que não pode afetar a ordem econômica é inefetivo. Por isso ligamos a descentralização política à descentralização econômica.[738]

Aplicado à mineração, esse princípio sugere que municípios, associações comunitárias, cooperativas e demais organizações locais devem possuir capacidade efetiva de influenciar decisões relacionadas ao uso dos recursos, ao ritmo de exploração e à distribuição dos benefícios da atividade, em vez de depender exclusivamente de governos centrais ou das próprias empresas. A legitimidade do empreendimento deixa, assim, de depender apenas da autorização estatal ou da viabilidade econômica e passa a envolver também a capacidade das instituições locais de participar de sua governança.

A preocupação com a relação entre escala e democracia também aparece em uma tradição mais ampla de pensamento. De John Dewey[739] a Lewis Mumford[740], diferentes autores destacaram a importância de manter as decisões políticas próximas das pessoas e das comunidades. Kirkpatrick Sale retoma essa tradição ao afirmar que a democracia "começa e termina em comunidades pequenas o bastante para que seus membros se encontrem face a face".[741] A discussão sobre proximidade das decisões conduz, assim, ao problema dos efeitos do crescimento sobre a própria organização.

---

738 Daly e Cobb, 1989, p. 174, tradução nossa.
739 Dewey, 1927.
740 Mumford, 2004.
741 Sale, 2017, p. 337, tradução nossa.

Leopold Kohr, a quem Schumacher reconhecia como sua principal inspiração sobre o "problema da escala", leva essa discussão a uma formulação mais radical. Existe um ponto em que o crescimento de uma organização ultrapassa a capacidade das pessoas de governá-la adequadamente. Para Kohr, quase toda forma de miséria social tem uma única causa — o tamanho excessivo. "Sempre que algo está errado, algo é grande demais", escreve Kohr, acrescentando que os problemas sociais tendem a crescer em progressão geométrica junto com o crescimento do organismo do qual fazem parte, enquanto a capacidade humana de lidar com eles cresce apenas aritmeticamente.[742]

Não é preciso aceitar a tese de Kohr em sua forma mais extrema, que reduz toda patologia social a uma questão de escala, para reconhecer sua utilidade neste contexto. A subsidiariedade mostra onde as decisões devem permanecer; Kohr ajuda a perguntar até que ponto uma organização pode crescer sem ultrapassar a capacidade humana de compreendê-la, governá-la e responsabilizá-la. Quando a escala de um empreendimento supera essa capacidade, a mineração deixa de se organizar em torno das necessidades da comunidade e passa a exigir que a própria comunidade se adapte às demandas da indústria minerária.

Para Kohr, o aumento de escala não representa apenas uma ampliação quantitativa, pois modifica as estruturas necessárias para manter uma organização em funcionamento. Para ilustrar essa ideia, ele recorre a um conhecido exemplo da biologia. Um rato não poderia simplesmente crescer até o tamanho de um elefante mantendo sua estrutura original. O aumento de escala exigiria pernas mais grossas, uma constituição diferente e um conjunto de adaptações que, ao final, o transformariam em algo distinto daquilo que era. Para Kohr, o mesmo ocorre com organizações humanas. À medida que crescem, tornam-se dependentes de níveis crescentes de burocracia, especialização e mecanismos de controle que modificam profundamente seu

[742] Kohr, 1957.

funcionamento. O problema do gigantismo não é apenas que grandes organizações sejam maiores; é que elas deixam de ser a mesma coisa que eram em escala reduzida. Na mineração, isso significa que a expansão do empreendimento modifica a forma como a atividade precisa ser organizada e administrada, tornando cada vez mais distante a possibilidade de compreendê-la e governá-la na escala da comunidade.

Essa transformação da organização pode ser observada, entre outros aspectos, em seus efeitos sobre a segurança do trabalho. Pesquisas realizadas em setores como aviação, siderurgia e mineração de carvão mostram que absenteísmo, afastamentos por doença e acidentes tendem a aumentar com o tamanho das unidades produtivas. Kirkpatrick Sale relaciona esse problema à forma como o trabalho e as decisões são organizados e argumenta que doenças ocupacionais historicamente associadas à mineração poderiam ter sido mitigadas "se os próprios trabalhadores estabelecessem as políticas do local de trabalho e as comunidades tivessem alguma palavra sobre as prioridades econômicas."[743]

A redução da escala, contudo, não garante por si só uma governança efetiva. Mesmo uma atividade organizada em dimensão compatível com a participação local pode depender de regras e instituições capazes de sustentar a cooperação e a tomada coletiva de decisões. A descentralização aproxima as decisões das pessoas, mas a autonomia comunitária depende também da existência de mecanismos concretos de autogoverno que permitam à comunidade estabelecer regras, distribuir responsabilidades e exercer controle sobre os recursos e atividades que afetam sua vida.

Se a descentralização aproxima as decisões das pessoas, a autonomia comunitária depende de mecanismos institucionais que permitam transformar essa proximidade em capacidade efetiva de autogoverno. Em seus estudos sobre instituições duradouras de gestão de recursos de uso comum, Ostrom identifica princípios de desenho recorrentes nos casos bem-sucedidos.

[743] Sale, 2017, p. 171, tradução nossa.

Entre eles estão: limites claramente definidos sobre quem tem direito a quê; arranjos de escolha coletiva, nos quais a maioria dos indivíduos afetados pelas regras pode participar de sua modificação; supervisão exercida por quem responde perante os próprios apropriadores; e — talvez o mais relevante aqui — o reconhecimento mínimo, por parte de autoridades externas, do direito dos apropriadores locais de construir suas próprias instituições.[744]

Embora esses princípios tenham sido formulados a partir de estudos sobre recursos de uso comum, eles oferecem uma lente particularmente útil para pensar a governança da mineração. A questão central deixa de ser apenas quem é proprietário do recurso mineral e passa a incluir, além da escala, quem participa das decisões sobre sua exploração e sob quais condições essa participação ocorre. Esses princípios sugerem que a legitimidade de um empreendimento depende menos de um único ato de consulta do que da existência de instâncias permanentes, com poder real, através das quais a comunidade afetada participa continuamente das decisões que a atingem — algo mais próximo de assembleias deliberativas do que de audiências públicas pontuais.

Mesmo quando a escala do empreendimento é compatível com a participação local e existem mecanismos capazes de sustentar o autogoverno, permanece outra condição para o exercício efetivo dessa autonomia. A comunidade pode ter autoridade formal para decidir e, ainda assim, depender de especialistas externos para compreender os processos técnicos envolvidos. O problema passa, então, da distribuição das responsabilidades para as condições de conhecimento e das ferramentas utilizadas para tomar as decisões. É nesse ponto que Ivan Illich amplia o debate sobre escala humana ao introduzir o conceito de convivencialidade. Para Illich, uma sociedade convivencial é aquela em que as ferramentas permanecem sob controle das próprias pessoas, ampliando sua capacidade de agir de forma autônoma na vida coletiva. “Convivencial é a so-

[744] Ostrom, 1990.

ciedade em que o homem controla a ferramenta."[745] Uma sociedade convivencial, escreve o autor, "oferece ao homem a possibilidade de exercer a ação mais autônoma e mais criativa, com ajuda das ferramentas menos controláveis pelos outros".[746] A questão, portanto, não é apenas quem possui formalmente a autoridade, mas se as pessoas dispõem dos conhecimentos e das ferramentas necessários para exercê-la sem depender integralmente de especialistas externos.

Sob essa perspectiva, a questão da escala não se limita ao tamanho físico do empreendimento ou à distribuição formal do poder decisório. Ela envolve também o grau em que as decisões podem permanecer próximas das pessoas, as instituições que permitem à comunidade governá-las e as condições técnicas necessárias para que essa autoridade seja exercida de forma efetiva.

Essa perspectiva permite distinguir três condições complementares para uma organização em escala comunitária. A primeira é uma escala compatível com a participação da comunidade nas decisões. A segunda é a existência de instituições de autogoverno capazes de sustentar a cooperação, definir regras e distribuir responsabilidades. A terceira é a disponibilidade de conhecimentos e ferramentas que permitam à comunidade compreender e fiscalizar os processos dos quais dependem essas decisões.

Por isso, não basta que o empreendimento seja pequeno o suficiente para caber sob o controle institucional da comunidade, nem que sua produção permaneça proporcional às necessidades do lugar. A própria tecnologia empregada — o grau de automação, a dependência de especialistas externos, a complexidade dos sistemas de controle e a opacidade dos processos operacionais — precisa permanecer, ao menos em alguma medida, acessível à compreensão e à fiscalização da comunidade. Uma mina cuja operação só possa ser compreendida por especialistas externos aproxima-se do limite que, no vocabulário de

[745] Illich, 1978, p. 13, tradução nossa.
[746] Illich, 1978, p. 40, tradução nossa.

Illich, separa uma ferramenta convivencial de um instrumento dominante que reduz a capacidade de autonomia daqueles que dependem dela.

Esses três critérios permitem agora observar de forma mais concreta como a escala interfere na organização da mineração. À medida que o empreendimento cresce, não aumenta apenas a quantidade de minério extraído. Também se ampliam as estruturas necessárias para organizar o trabalho, administrar os recursos, controlar os riscos e lidar com os efeitos da atividade. O crescimento altera, assim, as condições econômicas, institucionais e técnicas nas quais a comunidade poderia exercer seu autogoverno.

O aumento da produção amplia simultaneamente a complexidade da organização, a dependência econômica dos municípios, a distância entre os tomadores de decisão e as comunidades afetadas e a quantidade de materiais que precisam ser movimentados e armazenados. Esses fatores não crescem de forma isolada. À medida que o empreendimento se expande, seus efeitos econômicos, institucionais, sociais e ecológicos se reforçam mutuamente, produzindo efeitos sistêmicos que frequentemente ultrapassam a capacidade local de monitoramento e correção.

A escala física dessa expansão torna-se particularmente evidente na relação entre minério extraído e material descartado. Segundo Bridge, em uma mina média de metal no Canadá, cerca de 42% do material minerado é descartado imediatamente como estéril, outros 52% tornam-se rejeitos no beneficiamento e cerca de 4% correspondem à escória da fundição. Apenas aproximadamente 2% permanece como o produto mineral de valor.[747] Para o cobre, a proporção de material descartado é ainda maior, ultrapassando 99,5%. A escala da mineração, portanto, envolve também uma quantidade muito superior de material que precisa ser movimentado, processado e administrado em relação à parcela que constitui o produto comercial da atividade. Em termos de volume, portanto, a barragem de rejeitos não

[747] Bridge, 2004a.

é subproduto marginal da mineração: é, com folga, seu principal produto físico — o que torna a titularidade sobre sua gestão tão central quanto a titularidade sobre a decisão de extrair.

Essa relação ajuda a compreender por que a expansão do empreendimento pode ultrapassar a capacidade de governança da comunidade. Quanto maior o empreendimento, maiores tendem a ser as estruturas necessárias para administrar trabalhadores, equipamentos, fluxos financeiros, sistemas de segurança, materiais descartados e impactos ambientais. Quando essas estruturas exigem conhecimentos e mecanismos de controle que excedem a capacidade local de compreensão e acompanhamento, a expansão da atividade pode reduzir justamente a autonomia que uma mineração em escala comunitária deveria preservar.

A questão da escala, portanto, tem uma consequência concreta para a própria forma de organização do empreendimento minerário. Uma mineração em escala comunitária pressupõe empresas cuja propriedade e capacidade de decisão permaneçam vinculadas à comunidade e aos trabalhadores que nela vivem e trabalham. A redução da escala não diz respeito apenas ao volume de minério extraído. Ela envolve também a dimensão econômica da própria organização, evitando que a atividade alcance um porte em que a propriedade, a administração e as decisões se afastem das pessoas que sustentam e recebem diretamente os efeitos da mineração.

Nesse sentido, a empresa mineradora deve permanecer em uma escala compatível com a comunidade que a possui e governa. Quanto maior a empresa, maior tende a ser a distância entre propriedade, administração e trabalho, especialmente quando a expansão exige capital externo, estruturas administrativas especializadas e decisões tomadas fora do lugar onde a atividade ocorre. Uma organização comunitária procura manter essas relações próximas, de modo que aqueles que trabalham na mineração também participem da propriedade e das decisões sobre sua produção, enquanto a comunidade participa das

decisões relativas aos efeitos da atividade sobre sua vida econômica, social e ecológica.

Isso também altera o sentido da ideia de crescimento. A empresa não precisa buscar a expansão contínua de sua produção, de seu capital ou de sua participação no mercado. Seu crescimento encontra limites nas condições da própria comunidade e na capacidade de manter sob controle local a propriedade, o trabalho, a produção e seus efeitos. Quando a ampliação do empreendimento exige transformar a empresa em uma organização cujo capital, gestão e decisões passam a depender de agentes externos, a expansão deixa de ser compatível com o princípio da escala comunitária.

Uma consequência desse princípio é que uma mineração de escala comunitária tende a operar por meio de empresas menores, de propriedade dos próprios trabalhadores e da comunidade local. Essas empresas podem ser economicamente viáveis, utilizar tecnologias adequadas e participar dos mercados para comercializar sua produção, porém sua finalidade e seus limites permanecem definidos pelas pessoas e instituições que constituem a própria comunidade. O objetivo da escala reduzida, portanto, é preservar a correspondência entre o tamanho da atividade econômica e a capacidade daqueles que trabalham e vivem no lugar de possuir, compreender e governar a atividade.

Isso não significa que empreendimentos menores eliminem completamente os impactos da mineração. Eles podem, no entanto, operar em escalas mais compatíveis com a capacidade de monitoramento e resposta das comunidades locais, mantendo os riscos em níveis que possam ser acompanhados e enfrentados localmente. Também podem reduzir a necessidade de deslocamentos populacionais, favorecer formas mais distribuídas de propriedade e trabalho e aproximar aqueles que tomam as decisões daqueles que convivem diariamente com suas consequências.

Uma consequência desse princípio é que a produção mineral não precisa necessariamente buscar a máxima escala possí-

vel. Se a ampliação da produção exige estruturas administrativas, tecnológicas e financeiras que ultrapassam a capacidade de compreensão e controle da comunidade local, o crescimento do empreendimento passa a comprometer precisamente os objetivos que deveria servir. Assim, os limites da atividade podem considerar, além da disponibilidade do recurso e da viabilidade econômica, a capacidade institucional, social e técnica da comunidade de acompanhar e governar seus efeitos. Limites relacionados ao volume de produção, à área explorada ou à concentração da atividade podem, nesse sentido, funcionar como instrumentos de preservação da capacidade comunitária de governança.

Vista em conjunto, a contribuição desses autores permite formular um critério preliminar para uma mineração de escala comunitária. Essa abordagem não é definida apenas pelo volume de produção ou pela dimensão física do empreendimento. Ela pressupõe compatibilidade entre três formas de escala. A primeira é a escala econômica, relacionada à capacidade do território de absorver e sustentar a atividade. A segunda é a escala institucional, que preserva a capacidade de autogoverno da comunidade. A terceira é a escala tecnológica, que mantém os processos produtivos suficientemente inteligíveis e controláveis para que possam permanecer sob fiscalização humana e social.

6.5.3.1 A Economia a Serviço da Comunidade

A escala adequada da atividade, a existência de instituições de autogoverno e o acesso aos conhecimentos necessários para exercê-lo definem condições importantes para uma organização em escala comunitária. Essas condições precisam ser acompanhadas por uma discussão sobre a própria finalidade da atividade econômica.

A fim de redirecionar a atividade econômica de volta a comunidade local, Herman Daly e John Cobb Jr. partem de uma crítica à concepção de *homo economicus*, isto é, à representação do ser humano como um indivíduo econômico abstrato, re-

lativamente isolado, que orienta suas escolhas pela maximização de sua utilidade ou de seus próprios interesses. Essa representação, consolidada na economia moderna, tende a tratar as relações entre a pessoa, a comunidade e o ambiente como vínculos externos ao indivíduo. Em *For the Common Good*, Daly e Cobb propõem substituir essa imagem pela ideia de *person-in-community*, a pessoa-em-comunidade, cuja própria identidade é constituída pelas relações com outras pessoas, com as instituições comunitárias e com o ambiente.[748] A atividade econômica passa, assim, a ser compreendida a partir das relações que sustentam a vida das pessoas e da comunidade, e não apenas das escolhas individuais realizadas no mercado.

Essa perspectiva modifica também a maneira de avaliar a mineração. O trabalhador não é apenas fornecedor de força de trabalho, o morador não é apenas consumidor ou beneficiário e a comunidade não é apenas o espaço onde o empreendimento está instalado. Todos participam de relações econômicas que envolvem família, trabalho, propriedade, ambiente, instituições e formas de cooperação. Uma avaliação da atividade minerária orientada pelo bem comum precisa considerar, portanto, se sua organização fortalece ou enfraquece essas relações ao longo do tempo.

A fim de sustentar esse redirecionamento econômico Daly e Cobb recuperam, nesse contexto, a distinção aristotélica entre *oikonomia* e crematística. A *oikonomia* está relacionada à administração dos recursos tendo em vista a manutenção da casa e de seus membros ao longo do tempo. A crematística, por sua vez, orienta-se pela aquisição e acumulação de riqueza monetária. A diferença não está simplesmente entre duas formas de ganhar dinheiro, mas entre duas finalidades econômicas distintas. Enquanto a primeira estabelece um limite associado ao que é necessário para sustentar a vida, a segunda pode transformar a acumulação em finalidade sem um limite interno equivalente. Essa distinção ajuda a interpretar uma característica importante da mineração convencional. A atividade pode ser avaliada por

[748] Daly e Cobb, 1989.

sua capacidade de ampliar produção, exportações, lucros e remuneração aos acionistas, enquanto os efeitos sobre a continuidade das formas locais de sustento, a organização comunitária e as condições ecológicas aparecem como custos a serem mitigados. Nessa lógica, o sucesso econômico do empreendimento pode coexistir com a deterioração das condições que sustentam a comunidade onde ele opera. Uma economia orientada pelo bem comum exige outro critério. A questão passa a ser se a riqueza produzida contribui para a continuidade da vida econômica e social da comunidade ou se a comunidade precisa se adaptar às exigências de uma atividade cuja finalidade foi definida em outro lugar.

Essa crítica também permite ultrapassar a oposição entre capitalismo e socialismo como alternativas exaustivas para a organização econômica. Apesar de suas diferenças quanto à propriedade e à coordenação econômica, ambos os sistemas modernos foram fortemente marcados pelo industrialismo e pela busca do crescimento quantitativo ilimitado. A questão central para uma economia orientada pelo bem comum, portanto, não se resolve apenas pela escolha entre propriedade privada e propriedade estatal. Ela envolve a definição das finalidades da produção, da distribuição do poder econômico e da relação entre atividade produtiva, comunidade e ambiente.

Aplicada à mineração, essa distinção permite pensar em formas de organização que não dependam exclusivamente nem da concentração empresarial privada nem da centralização estatal. Uma mina pode ser economicamente viável e, ao mesmo tempo, possuir estruturas de propriedade e decisão que ampliem a participação dos trabalhadores e das organizações locais. Cooperativas, empresas de propriedade dos trabalhadores, associações locais e outras formas de propriedade compartilhada oferecem possibilidades distintas da separação entre aqueles que controlam o empreendimento e aqueles que apenas trabalham nele ou vivem em suas proximidades.

A democratização da empresa constitui um passo importante nessa direção porque desloca parte das decisões sobre a ati-

vidade produtiva para aqueles que participam diretamente dela. Essa mudança começa pela organização do próprio trabalho. O modelo de gestão associado ao taylorismo separou o planejamento da execução, concentrou na administração o conhecimento sobre o processo produtivo e reduziu o trabalhador à realização de tarefas previamente definidas. A democratização procura recompor essa separação, reconhecendo que os trabalhadores possuem conhecimento derivado da experiência direta e que sua participação pode alcançar as decisões que organizam o trabalho.

Essa participação pode assumir diferentes formas. A codeterminação amplia a presença dos trabalhadores nas instâncias formais de decisão da empresa, enquanto mecanismos de participação na gestão permitem sua atuação em questões operacionais e estratégicas. Em modelos mais avançados, a participação alcança também a propriedade, por meio de empresas de propriedade dos trabalhadores, cooperativas ou sistemas de participação acionária associados a direitos efetivos de decisão. A propriedade, nesse caso, deixa de ser apenas um mecanismo de distribuição de rendimentos e passa a estar relacionada à capacidade de participar das decisões sobre a própria empresa.

Daly e Cobb discutem ainda formas institucionais destinadas a evitar que a democratização da propriedade seja perdida ao longo do tempo. Entre elas estão sistemas em que o capital permanece sob propriedade coletiva, enquanto os resultados econômicos são distribuídos aos trabalhadores, e mecanismos de fundos de investimento controlados pelos próprios trabalhadores. O objetivo comum dessas propostas é aproximar propriedade, trabalho e decisão, evitando que a participação dos trabalhadores se limite à aquisição de ações sem poder correspondente sobre os rumos da empresa.

A questão econômica, assim, envolve a própria organização do trabalho. Quando os trabalhadores participam das decisões e possuem maior controle sobre os meios pelos quais realizam sua atividade, torna-se possível reorganizar a relação entre pes-

soa, máquina e produção. A tecnologia deixa de ser apenas um instrumento para intensificar a produtividade e pode ser utilizada para ampliar a autonomia, recuperar conhecimentos práticos e distribuir de forma mais ampla a capacidade de decidir sobre o processo produtivo. A democratização econômica, nesse sentido, não se limita à distribuição posterior da riqueza. Ela alcança a maneira como o trabalho é organizado, como as decisões são tomadas e quem possui os meios para orientar a produção.

Na mineração, esses princípios poderiam assumir formas bastante concretas. Os trabalhadores poderiam participar das decisões sobre organização do trabalho, segurança, adoção de tecnologias, manutenção, ritmo das operações e destinação dos investimentos internos. Em estruturas de propriedade compartilhada, poderiam participar também das decisões sobre distribuição dos resultados e reinvestimento da riqueza produzida. A comunidade, por sua vez, participaria das questões que ultrapassam o local de trabalho, como os limites de produção, os efeitos sobre outras atividades econômicas, o uso da infraestrutura local, a gestão dos rejeitos, os impactos ambientais e o planejamento do encerramento da mina.

A democratização da empresa e o autogoverno comunitário atuariam, assim, em escalas distintas, mas complementares. No interior do empreendimento, a participação dos trabalhadores aproxima quem executa o trabalho das decisões que orientam sua realização. No âmbito da comunidade, as instituições locais participam das decisões relativas aos efeitos da atividade sobre a vida econômica, social e ecológica do lugar, como o ritmo de exploração, a destinação de parte dos resultados, a utilização de infraestrutura, a gestão dos impactos e o planejamento do período posterior à exploração. Em conjunto, essas formas de participação permitem aproximar trabalho, propriedade, decisão e comunidade, reduzindo a distância entre aqueles que produzem a riqueza, aqueles que controlam o empreendimento e aqueles que vivem das condições sociais e ecológicas que a atividade modifica.

Essa perspectiva também redefine o papel do mercado. Daly e Cobb não defendem sua simples eliminação. O mercado pode continuar sendo um instrumento importante para a alocação de recursos, desde que permaneça subordinado às finalidades definidas pela comunidade. A questão central é impedir que os critérios de mercado determinem, por si mesmos, os objetivos da atividade econômica. O preço de um minério, a demanda internacional e a expectativa de retorno financeiro dos investidores pertencem à esfera das condições de mercado e podem influenciar a atividade empresarial, mas não devem orientar as decisões econômicas fundamentais da comunidade. Essas decisões precisam partir das finalidades que a própria comunidade estabelece para sua economia, incluindo quanto extrair, em que condições produzir, quais riscos aceitar e quais efeitos está disposta a suportar.

Os limites de produção, a proteção das atividades econômicas locais, a distribuição dos benefícios, a gestão dos rejeitos, a segurança e o planejamento do encerramento da mina pertencem a uma esfera de decisão que não pode ser reduzida à lógica do preço ou da rentabilidade do empreendimento.

A economia a serviço da comunidade, portanto, não corresponde à rejeição absoluta do mercado nem à eliminação da atividade empresarial. Ela implica subordinar os instrumentos econômicos às finalidades estabelecidas pela própria comunidade. Nessa perspectiva, a mineração de escala comunitária combina participação política, autogoverno institucional, capacidade técnica e organização econômica orientada para a continuidade da vida comunitária. A riqueza produzida pela atividade passa a ser avaliada por sua capacidade de sustentar as relações sociais, econômicas e ecológicas das quais a própria atividade depende.

6.5.3.2 A Escala da Comunidade Governante

A discussão anterior tratou da escala do empreendimento, considerando o ponto em que uma mina, ou a estrutura completa de um empreendimento minerário, cresce além da capaci-

dade da comunidade de compreendê-la, fiscalizá-la e influenciar suas decisões. A mesma questão se aplica à escala da própria comunidade. Uma população excessivamente grande tende a exigir níveis crescentes de representação, burocracia e especialização, tornando as relações entre as pessoas e as decisões mais impessoais. Por outro lado, uma comunidade muito pequena pode não dispor da diversidade de conhecimentos, funções e recursos necessários para sustentar determinadas atividades e serviços. A escala da comunidade depende, portanto, tanto de seu tamanho quanto da existência de níveis de organização capazes de manter a proximidade das decisões sem impedir a cooperação em escalas maiores.

Essa organização pode ser reconstruída em quatro níveis, articulados em níveis de recursão mais amplos, o da família e o da comunidade, combinando a distinção de escalas formulada por Kohr com a derivação formal proposta por J. Donald R. De Raadt.[749] Em uma comunidade que abriga atividade minerária, esses níveis não têm apenas uma função administrativa. Cada um corresponde a um campo diferente de decisões, determinado pela proximidade das pessoas afetadas e pela escala necessária para executar cada responsabilidade.

O primeiro nível é o grupo de proximidade, formado por aproximadamente 80 a 100 adultos. Trata-se da escala do autogoverno face a face, na qual os participantes podem deliberar diretamente em uma mesma reunião. Na prática, corresponde à reunião de poucas famílias estendidas vizinhas que já se reconhecem mutuamente antes da constituição de qualquer estrutura formal de governo.[750] Em uma comunidade mineradora, é nesse nível que podem ser tratadas questões diretamente ligadas à vida cotidiana, como alterações nas estradas utilizadas pelos moradores, circulação de equipamentos pesados, horários de detonação, localização de instalações próximas às resi-

[749] Kohr, 1957, apud Sale, 2017; De Raadt, 2023. Uma formulação mais desenvolvida desta arquitetura social de quatro níveis, aplicada ao desenho organizacional de uma Municipalidade Participativa, encontra-se em Perdigão, 2026.

[750] Kohr, 1957.

dências, condições de segurança e efeitos sobre nascentes, cursos d'água ou áreas utilizadas pelas famílias. A proximidade permite que o conhecimento necessário à decisão esteja distribuído entre os próprios moradores e que a responsabilidade por acompanhar seu cumprimento permaneça claramente identificável.

O segundo nível é o bairro ou aldeia, com aproximadamente 2.500 habitantes, segundo a projeção que De Raadt deriva a partir do tamanho da família ao longo de gerações sucessivas. Essa escala já é grande demais para uma assembleia geral permanente, porém permanece suficientemente próxima para permitir formas de representação baseadas em pessoas e instituições reconhecidas na vida cotidiana da comunidade, como famílias, igrejas e associações, em vez de depender exclusivamente de estruturas eleitorais externas.[751] A representação substitui a presença direta, mas preserva uma relação pessoal entre quem participa das decisões e aqueles que serão afetados por elas. Na mineração, o bairro pode constituir a escala adequada para decisões sobre a relação do empreendimento com as atividades econômicas e os espaços compartilhados daquela parte da comunidade, como estradas vicinais, áreas de produção agrícola, comércio local, equipamentos comunitários, fontes de água e outras estruturas utilizadas cotidianamente. Também pode funcionar como instância para receber, discutir e encaminhar problemas que ultrapassem uma única família, mantendo a decisão próxima daqueles que experimentam diretamente seus efeitos.

O terceiro nível é o núcleo municipal, formado pela articulação entre dois ou três bairros vizinhos. Corresponde, de forma aproximada, ao patamar de 4.000 a 5.000 habitantes que Kohr identifica como suficiente para sustentar uma especialização produtiva básica sem depender integralmente da importação de bens e serviços.[752] Dois bairros na escala proposta por De Raadt aproximam-se desse patamar. Na organização da mi-

[751] De Raadt, 2023.
[752] Kohr, 1957.

neração, esse nível permite tratar de questões que exigem recursos e coordenação superiores aos disponíveis em um único bairro, como formação profissional, serviços de saúde, manutenção de estradas de uso intercomunitário, sistemas de abastecimento de água, transporte, fiscalização técnica e planejamento de áreas de produção. É também uma escala adequada para coordenar diferentes comunidades próximas quando os efeitos de uma mina atravessam seus limites imediatos, como ocorre com o uso de uma mesma estrada, bacia hidrográfica ou infraestrutura de beneficiamento.

O quarto nível é o município federado, chamado de Municipalidade Participativa, que reúne certo número desses núcleos para prover bens e serviços que um único bairro ou núcleo não teria condições de sustentar isoladamente, como assistência hospitalar, educação avançada e infraestrutura de maior porte. De Raadt não estabelece um número único para esse nível, pois sua dimensão depende das condições geográficas e econômicas, mas considera que a participação cidadã efetiva exige populações inferiores a 100 mil habitantes, com uma faixa ideal entre 30 e 40 mil.[753] Na mineração, essa escala pode assumir responsabilidades que exigem maior capacidade financeira, técnica ou territorial, como hospitais, sistemas regionais de saneamento, infraestrutura de transporte de maior porte, formação técnica especializada e planejamento integrado entre diferentes núcleos. Também pode coordenar decisões relativas ao período de fechamento da mina quando os efeitos ultrapassarem a área de uma única comunidade. Seu papel, entretanto, não seria absorver as decisões dos níveis inferiores, e sim realizar aquilo que depende de uma escala maior.

Essa organização em níveis possui precedentes históricos. Kirkpatrick Sale identifica, na tradição descentralista associada a Kohr, os cantões suíços como exemplo de uma estrutura política formada por unidades sucessivamente menores: “cada cantão era uma federação de distritos, e cada distrito se dividia em comunas, e cada comuna era formada por aldeias sobera-

[753] De Raadt, 2023.

nas".[754] Em relato de um viajante do século XVIII, cada vila, paróquia e vizinhança já constituía uma pequena república. A organização política, nesse caso, não eliminava a unidade maior, mas a construía a partir de unidades menores dotadas de capacidade própria de governo. A mesma lógica pode ser aplicada à mineração: uma decisão deve subir de nível somente quando sua execução exigir recursos, coordenação ou conhecimentos que ultrapassem a capacidade da unidade imediatamente inferior.

O princípio da subsidiariedade aparece, assim, como uma distribuição de responsabilidades entre níveis diferentes de organização. Cada nível conserva as matérias que pode governar adequadamente e se articula com os demais quando uma decisão exige uma escala maior. Isso permite distinguir, por exemplo, entre uma decisão sobre o horário de detonações próximas às residências, que pertence ao nível de proximidade, e uma decisão sobre a ampliação da área de lavra, que depende do nível municipal ou, como chamamos, de uma Municipalidade Participativa. O mesmo empreendimento pode, portanto, estar submetido a diferentes centros de decisão, cada qual responsável pelos aspectos da atividade que consegue acompanhar diretamente.

Para a mineração, essa distinção é decisiva porque a organização convencional do empreendimento tende a comprimir essas escalas em categorias amplas e impessoais. Um Estudo de Impacto Ambiental pode dirigir-se genericamente à "população afetada"; uma licença pode ser negociada com "o município"; uma compensação pode ser destinada à prefeitura. Em cada caso, diferentes níveis de organização comunitária são tratados como uma única unidade administrativa. Com isso, os grupos de proximidade, os bairros e os núcleos intermediários perdem a capacidade de atuar como interlocutores reconhecíveis, e decisões diferentes passam a ser tomadas por uma mesma estrutura administrativa.

---

[754] Sale, 2017, p. 339-340, tradução nossa.

A escala humana da mineração, portanto, depende da compatibilidade entre duas estruturas. As primeiras são as escalas do empreendimento, discutidas anteriormente, que precisa permanecer dentro da capacidade material, técnica e econômica de uma comunidade governá-lo. A segunda é a escala da própria comunidade, que precisa conservar níveis de organização suficientemente próximos das pessoas para exercer o autogoverno e suficientemente articulados para lidar com decisões que ultrapassam a capacidade de cada unidade isolada. A governança do empreendimento passa, assim, a ser distribuída entre diferentes níveis, em vez de concentrada em uma única administração empresarial ou municipal.

As duas estruturas podem se descolar de maneiras diferentes. Uma mina pode crescer além da capacidade de qualquer comunidade de compreendê-la, fiscalizá-la e governá-la. Também pode ocorrer o inverso. Uma atividade de escala razoável pode ser instalada em uma comunidade cuja organização tenha sido comprimida em estruturas administrativas excessivamente amplas, sem níveis intermediários capazes de exercer autoridade efetiva. Nos dois casos, decisões que deveriam permanecer próximas de quem vive e trabalha no lugar passam a ser tomadas em outra escala e por instituições distantes daqueles que suportam diretamente seus efeitos. É a compatibilidade entre essas duas escalas que permite transformar a participação comunitária em autogoverno efetivo.

As seções seguintes deste capítulo — sobre territorialização da riqueza (6.5.4) e sobre as instituições comunitárias necessárias para sustentar essa arquitetura de níveis ao longo do tempo (6.5.4.1) — partem dessa dupla exigência de escala como ponto de partida.

6.5.4 Territorializar a Riqueza

A organização da atividade econômica em uma escala compatível com a capacidade de participação da comunidade constitui um primeiro passo para aproximar as decisões econômicas das pessoas diretamente envolvidas por seus efeitos. A proxi-

midade entre o empreendimento e a comunidade, porém, precisa ser acompanhada por uma estrutura econômica que permita a esta comunidade participar também da riqueza produzida pela atividade. Uma mineração pode ser organizada em escala adequada ao autogoverno local e, ainda assim, direcionar para outras regiões grande parte da riqueza que gera. Por isso, além da escala da atividade e das condições de organização social para governá-la, é necessário considerar como a riqueza produzida é apropriada, onde permanece e quais capacidades econômicas deixa na comunidade. Wendell Berry descreve essa dinâmica ao observar que grande parte do dinheiro produzido a partir de um lugar acaba nas mãos de pessoas distantes, que não participaram da produção da riqueza ali gerada — um "patrimônio incalculável, vendido por um dinheiro que, em sua maior parte, não recebemos".[755]

A territorialização da riqueza refere-se à capacidade de a atividade econômica deixar no próprio território não apenas recursos monetários, mas também propriedade, meios de produção, conhecimentos, infraestrutura, organizações e outras capacidades que possam continuar produzindo benefícios para a comunidade. Territorializar a riqueza significa, portanto, fazer com que uma parcela significativa do valor gerado pela atividade permaneça sob propriedade, controle ou utilização da própria comunidade e se converta em capacidades econômicas duradouras.

Hilaire Belloc formula, nesse contexto, o princípio da "propriedade bem distribuída", baseado na descentralização da propriedade dos meios de produção. Para Belloc, uma sociedade proprietária é aquela em que "uma proporção suficientemente grande das famílias do Estado possui e, portanto, controla os meios de produção a ponto de determinar o tom geral da sociedade" — nem capitalista, nem comunista, mas proprietária.[756] Quando os meios de produção pertencem a uma parcela ampla das famílias de uma comunidade, parte significativa da riqueza

[755] Berry, 1990, p. 157, tradução nossa.
[756] Belloc, 2002, p. 24, tradução nossa.

gerada permanece sob o controle daqueles que vivem no próprio lugar e pode ser reinvestida em atividades, serviços e estruturas que sustentam sua vida econômica. O princípio de Belloc desloca a atenção da simples compensação pelos efeitos da atividade para a participação da comunidade na própria estrutura produtiva que gera a riqueza. Isso pode envolver a propriedade de diferentes etapas da cadeia mineral por trabalhadores, cooperativas e empresas locais, incluindo beneficiamento, transporte, manutenção industrial, recuperação ambiental e outras atividades associadas à produção mineral.

Uma formulação brasileira anterior encontra-se no pensamento de André Rebouças, para quem a propriedade distribuída constituía uma condição fundamental para a liberdade econômica. Em seu livro Agricultura Nacional, Rebouças formula o princípio da "Democracia Rural", baseado na subdivisão da propriedade e na exploração direta da terra por agricultores-proprietários.[757] O objetivo não era simplesmente multiplicar pequenas propriedades, mas criar condições para que trabalhadores livres participassem diretamente da produção e dos resultados de seu trabalho. Ao mesmo tempo, Rebouças não imaginava essas unidades como economias isoladas. Propunha sua articulação com estruturas de beneficiamento e transformação,

[757] O conceito de Democracia Rural, formulado por André Rebouças em Agricultura Nacional: Estudos Econômicos, Propaganda Abolicionista e Democrática (1883), refere-se à exploração direta do solo por agricultores-proprietários, mediante a subdivisão da propriedade territorial e o trabalho livre. Rebouças apresenta a democratização da propriedade como parte da regeneração social e econômica do país após a escravidão, em oposição ao monopólio territorial associado ao latifúndio. Seu programa incluía mecanismos destinados a favorecer a formação de pequenas propriedades e a articulação destas com estruturas de beneficiamento, como as chamadas "fazendas centrais". A formulação de Rebouças está diretamente relacionada à agricultura e à transição do trabalho escravo para o trabalho livre. O autor, entretanto, utiliza um princípio de organização econômica que ultrapassa esse setor, referindo-se expressamente à sua aplicação à indústria agrícola, extractiva e pastoril. É essa extensão do princípio de descentralização da propriedade e articulação da produção que interessa à presente discussão.

como fazendas ou engenhos centrais" cooperativos, capazes de oferecer aos pequenos proprietários acesso a recursos técnicos e mercados sem exigir a concentração da propriedade produtiva.

Essa combinação entre propriedade distribuída e estruturas produtivas organizadas é particularmente relevante para a territorialização da riqueza. Aplicada à mineração, ela permite pensar uma estrutura na qual trabalhadores, cooperativas e empresas locais participem da propriedade e da operação de diferentes etapas da cadeia — extração, beneficiamento, transporte, manutenção e recuperação ambiental — sem que a organização técnica da produção exija a concentração de todos os meios de produção em uma única empresa.

A distribuição da propriedade também cria condições para uma economia menos dependente de um único empreendimento. Quando diferentes famílias, trabalhadores e organizações possuem meios de produção e participam de atividades econômicas distintas, a riqueza pode circular entre diferentes setores da própria comunidade, ampliando sua capacidade produtiva e reduzindo a dependência em relação à empresa mineradora. A territorialização da riqueza envolve, portanto, não apenas manter uma parcela maior dos resultados da mineração na comunidade, mas utilizar essa riqueza para fortalecer uma base econômica diversificada. Iniciativas vinculadas à sociedade civil e a comunidades religiosas têm procurado justamente fortalecer formas de economia enraizadas localmente e criar alternativas à concentração de recursos nas atividades extrativas. A rede *Iglesias y Minería*, por exemplo, sustenta que a crítica aos impactos da mineração precisa ser acompanhada pelo fortalecimento de alternativas econômicas concretas.[758] Experiências associadas à agroecologia, à agricultura familiar, ao cooperativismo e a formas de mineração artesanal certificada mostram diferentes possibilidades de ampliar as capacidades produtivas

[758] A Rede *Iglesias y Minería* é um espaço ecumênico latino-americano formado por comunidades cristãs que atuam na defesa dos direitos socioambientais contra os impactos da atividade mineradora.

locais e reduzir a vulnerabilidade das comunidades aos ciclos de expansão e retração da atividade mineral.

Essas iniciativas podem ser compreendidas como parte de um movimento mais amplo de territorialização da economia, em sentido contrário à tendência de subordinar as atividades locais a fluxos econômicos cada vez mais amplos e distantes. É nesse contexto que a crítica de Milton Santos[759] à globalização se torna relevante para a discussão da mineração. Em sua análise, a globalização reorganiza os lugares segundo redes e fluxos comandados em grande medida por agentes econômicos externos, fazendo com que as necessidades e capacidades das populações locais percam influência sobre os rumos da economia e do espaço em que vivem.[760] A infraestrutura, o planejamento e as decisões econômicas passam a acompanhar esses fluxos de capital, mercadorias, informações e serviços, integrando as comunidades a circuitos mais amplos nos quais grande parte da riqueza produzida localmente pode ser apropriada em outros lugares.

A territorialização da riqueza constitui, nesse sentido, uma direção oposta ao movimento de crescente externalização da economia local. Não se trata de isolar a comunidade dos mercados mais amplos, mas de fortalecer sua capacidade de satisfazer, em primeiro lugar, suas próprias necessidades e, a partir dessa base, participar da propriedade, da produção, das decisões e dos resultados econômicos gerados por seus recursos e atividades. A comunidade permanece conectada a outros mercados e regiões, porém sua inserção neles parte de uma econo-

[759] Santos, 2000; 2005; 2014; 2020.

[760] Milton Santos (2008) denomina esse estágio da organização do espaço de meio técnico-científico-informacional. Nele, o território deixa de ser estruturado apenas por seus recursos naturais ou por infraestruturas físicas e passa a ser organizado por redes técnicas altamente complexas — como sistemas de transporte, telecomunicações, informática, logística e finanças — articuladas por conhecimento científico e fluxos de informação. Como essas redes são, em grande medida, controladas por grandes empresas e centros de decisão externos ao território, as comunidades locais frequentemente perdem influência sobre os rumos do desenvolvimento de seu próprio espaço.

mia local capaz de atender às necessidades de seus próprios membros, ampliando sua capacidade de determinar o que produz, em que condições produz e quanto da riqueza gerada permanece vinculado à sua vida econômica.

Essa perspectiva permite distinguir duas formas de enfrentar a concentração econômica produzida pela mineração. A redistribuição procura compensar *ex post* parte da riqueza apropriada durante a atividade, por meio de royalties, compensações ou outros mecanismos de transferência. A territorialização procura atuar na própria estrutura econômica que produz essa concentração, ampliando a participação local na propriedade, no controle e nas etapas da cadeia produtiva para que uma parcela maior da riqueza permaneça vinculada ao lugar onde é gerada.

Sob essa perspectiva, a territorialização não se limita à distribuição dos lucros, mas alcança a própria estrutura da cadeia produtiva. Sempre que tecnicamente possível e ambientalmente compatível, torna-se desejável aproximar da comunidade atividades como beneficiamento, processamento, formação técnica e serviços especializados. O objetivo não é alcançar uma autossuficiência irrealista, mas evitar que a comunidade assuma os custos ambientais e sociais da extração enquanto as etapas mais rentáveis e os benefícios econômicos mais significativos permanecem concentrados em outras regiões.

Uma mina pode movimentar bilhões de reais ao longo de sua vida útil e, ainda assim, deixar pouca riqueza permanente na comunidade onde opera. Sob uma abordagem territorializada, perguntas adicionais tornam-se necessárias: quantos fornecedores pertencem ao próprio município ou à região? Quantos trabalhadores locais ocupam posições de liderança e participam efetivamente das decisões? Qual parcela dos excedentes econômicos permanece no território após cada ciclo produtivo? Quais atividades econômicas complementares foram fortalecidas em consequência da mineração? O foco desloca-se da simples geração de receita para a capacidade da atividade minerária de fortalecer as bases econômicas da comunidade e ampliar sua autonomia ao longo do tempo.

Um exemplo ajuda a tornar isso concreto. Considere-se uma mineração de brita e areia, que atende necessariamente a mercados locais — o custo de transporte torna inviável exportá-la para longe. No modelo convencional, a empresa extrai, vende para construtoras e distribui dividendos a proprietários que podem não ter nenhum vínculo com o município. Numa lógica territorializada, a mesma pedreira poderia alimentar uma cadeia cooperativa local — pré-moldados, blocos, pavimentação, habitação popular — de modo que a principal riqueza produzida ao longo de vinte anos não fosse a brita extraída, mas a infraestrutura construída com ela: casas, drenagem, estradas rurais, galpões agrícolas, cooperativas fortalecidas.

De modo semelhante, uma mineração de calcário poderia contribuir diretamente para a agricultura local por meio da correção dos solos, fortalecer a produção de alimentos e alimentar pequenas iniciativas de beneficiamento associadas à construção civil. Em ambos os casos, a atividade mineral deixa de ser uma simples fonte de receita e passa a integrar um sistema econômico orientado para as necessidades concretas do território.

A mina deixaria, assim, de ser uma atividade "instalada sobre" a comunidade para se tornar uma atividade "governada com e para" ela. Nessa perspectiva, instrumentos como o beneficiamento local, a organização cooperativa de diferentes etapas da cadeia produtiva — incluindo transporte, alimentação, recuperação ambiental, monitoramento hídrico e processamento mineral em pequena escala — e a constituição de fundos comunitários independentes tornam-se particularmente relevantes. O objetivo não é apenas redistribuir, posteriormente, parte dos ganhos produzidos pela mineração, mas organizar a própria atividade de modo que uma parcela crescente da riqueza gerada seja convertida em produção, serviços, propriedade e capacidades que permaneçam vinculados ao território.

Entre os mecanismos capazes de sustentar essa territorialização da riqueza, os fundos comunitários merecem atenção especial. Diferentemente dos royalties administrados pelos governos municipais ou dos programas sociais controlados pelas

próprias empresas, um fundo comunitário independente pode funcionar como uma instituição de longo prazo destinada a transformar a riqueza mineral em capacidades permanentes. Sua finalidade não seria maximizar retornos financeiros, mas financiar iniciativas capazes de ampliar a autonomia econômica da comunidade, como cooperativas, infraestrutura comunitária, formação técnica, agricultura familiar, recuperação ambiental e outras atividades que possam permanecer viáveis após o encerramento da mineração.

Dessa maneira, a riqueza extraída do território pode ser convertida em ativos e capacidades que continuem servindo à comunidade mesmo depois de finalizado o trabalho de extração mineral. O controle, os benefícios e a responsabilidade pela utilização desses recursos permanecem, tanto quanto possível, próximos do lugar em que a atividade ocorre.

Essa orientação também modifica a própria finalidade econômica da produção mineral. Um território de trinta ou quarenta mil habitantes necessita continuamente de moradias, estradas, sistemas de saneamento, energia, equipamentos agrícolas, materiais de construção e diversas outras infraestruturas indispensáveis à vida comunitária. Sempre que as características do minério e as condições técnicas e ambientais permitirem, parte da produção mineral pode ser orientada prioritariamente para atender essas necessidades internas, antes de buscar mercados mais distantes. A mineração passa, assim, a contribuir diretamente para a reprodução da vida econômica local, em vez de funcionar predominantemente como uma atividade voltada à exportação de recursos e à transferência de seus resultados para outros lugares.

Isso não implica abandonar os mercados externos. Uma economia territorializada continua realizando trocas com outras regiões e participando de cadeias produtivas mais amplas. A diferença está na ordem das prioridades. Primeiro deve-se fortalecer a capacidade da comunidade de atender às suas próprias necessidades e ampliar suas bases produtivas; depois, no caso de excedentes, utilizar sua inserção em outros mercados

para complementar essa economia e gerar novos recursos. A abertura econômica deixa de significar a mera saída da riqueza do território e passa a estar subordinada ao fortalecimento de sua vida econômica.

Diversas iniciativas da sociedade civil têm defendido essa transição. A mesma *Campaña de Desinversión en Minería* mencionada anteriormente associa a crítica aos impactos da mineração ao fortalecimento de economias solidárias, cooperativas locais, agricultura sustentável e outras atividades capazes de diversificar a base econômica dos territórios afetados. O ponto central dessas propostas não é simplesmente substituir uma atividade por outra, mas ampliar a autonomia das comunidades diante de grandes empreendimentos cuja expansão, retração ou encerramento pode afetar profundamente o futuro econômico de uma região.

Essa autonomia pode ser acompanhada por indicadores concretos, mensurados e observados ao longo do tempo. Em conjunto, eles permitem apreender aspectos da vida econômica e comunitária que medidas agregadas, como o Produto Interno Bruto ou a arrecadação municipal, não conseguem expressar por si mesmas. Enquanto essas medidas informam o volume da atividade econômica e dos recursos movimentados pelo município, os indicadores territoriais permitem observar se essa atividade produz diversidade econômica, amplia a participação local, fortalece a capacidade de atender às necessidades da população e reduz a dependência em relação a empresas e agentes externos.

Essa diferença não é apenas uma questão de escolher indicadores mais abrangentes. Ela envolve o próprio conceito de desenvolvimento econômico que orienta aquilo que uma sociedade decide contar como resultado. A economia convencional tende a concentrar sua contabilidade nos valores monetários que passam pelo mercado e, ao mesmo tempo, deixar fora dela parte significativa dos custos ambientais, sociais e comunitários associados à produção. Wendell Berry chama atenção justamente para essa separação entre aquilo que entra na contabi-

lidade econômica e aquilo que é transferido para a sociedade e para a natureza. Ele destaca que a economia convencional utiliza uma "contabilidade interna" focada apenas em índices de mercado, enquanto transfere para a sociedade e para a natureza a "contabilidade externa" — que inclui a erosão do solo, o despovoamento rural e a destruição das comunidades.[761] Wes Jackson desenvolve crítica semelhante ao observar que a circulação monetária pode ser registrada como crescimento mesmo quando depende da exploração de estoques naturais e da redução do patrimônio ecológico e social. Jackson argumenta que a linguagem da economia convencional se baseia em uma "contabilidade distorcida" e em premissas como desejo ilimitado e maximização monetária. Economistas modernos são forçados a admitir que grande parte do que é realmente vital para a cultura e para os sistemas de suporte à vida "não entra no cálculo" econômico.[762]

Os indicadores tradicionais celebram a circulação de dinheiro impulsionada pela extração de recursos (petróleo, água fóssil, solos, minerais) e pela mercantilização da natureza, tratando a terra e as comunidades como meras minas de riqueza a serem exploradas.

O problema, portanto, não está simplesmente no fato de o PIB deixar de considerar alguns aspectos importantes da vida comunitária. Está também em tratá-lo como se fosse uma medida concreta da saúde ou da viabilidade da própria sociedade. Daly e Cobb denominam essa confusão de falácia da concretude deslocada – uma medida parcial e abstrata passa a ocupar o lugar da realidade concreta que deveria apenas ajudar a descrever.[763] O PIB pode informar quanto valor monetário foi produzido e transacionado, assim como a arrecadação informa quanto recurso fiscal foi apropriado pelo poder público, mas nenhum dos dois indica, por si só, se uma comunidade se tornou mais capaz de produzir seus próprios alimentos, distribuir a

761 Berry, 2015b.
762 Jackson, 1994; 2011.
763 Daly e Cobb, 1989.

propriedade, atender às suas necessidades, cooperar ou decidir sobre seu futuro.

Essa insuficiência se torna ainda mais evidente, segundo o economista Manfred Max-Neef, quando se considera a relação entre atividade econômica e qualidade de vida. O crescimento das transações monetárias não corresponde necessariamente ao crescimento da qualidade de vida.[764] O PIB contabiliza como "crescimento" qualquer transação monetária de mercado, sem discriminar se a atividade é produtiva, improdutiva ou abertamente destrutiva. Gastos provocados por doenças ou pela recuperação de danos ambientais podem aumentar o PIB, enquanto o trabalho doméstico, o cuidado, a cooperação comunitária e diversos serviços fornecidos gratuitamente pela natureza permanecem fora dessa contabilidade. Uma comunidade ou país pode registrar crescimento do PIB enquanto se empobrece de forma irreversível, destruindo suas bases ambientais e sociais para servir a exigências econômicas externas.

Para Max-Neef, o desenvolvimento deve ser pensado a partir da satisfação das necessidades humanas e da capacidade das próprias comunidades de atender a essas necessidades, e não apenas a partir da expansão quantitativa dos objetos e das transações econômicas. A verdadeira métrica de desenvolvimento é aquela que eleva a qualidade de vida das pessoas. Essa qualidade de vida não depende do rendimento monetário, mas sim da possibilidade de a comunidade satisfazer adequadamente o conjunto de suas necessidades humanas fundamentais.[765]

Para isso, em vez de recorrer a indicadores agregados do mercado, propõe-se métodos qualitativos e participativos, per-

---

[764] Max-Neef, 1994; Max-Neef e Smith, 2014.

[765] Max-Neef sistematiza essa abordagem na Matriz de Necessidades e Satisfatores, que relaciona as necessidades humanas fundamentais às diferentes formas pelas quais elas podem ser satisfeitas. A matriz distingue, portanto, as necessidades dos meios empregados para atendê-las, permitindo avaliar o desenvolvimento pelas condições concretas de satisfação das necessidades humanas, e não simplesmente pelo aumento da produção ou da renda.

mitindo que a própria comunidade avalie sua realidade e construa caminhos de autodependência.

Na mineração, essa limitação assume consequências particularmente importantes. Huggins mostra que modelos orientados ao investimento frequentemente utilizam o crescimento do PIB, das exportações e das receitas como sinais de sucesso, embora esse crescimento possa coexistir com pouca redução da pobreza e pouca melhoria das condições de vida nas comunidades diretamente afetadas.[766] Os modelos regulatórios de mineração promovidos nas últimas décadas (frequentemente impulsionados por instituições multilaterais como o Banco Mundial) priorizaram o "modelo orientado ao investimento". Esse modelo busca maximizar o PIB nacional e as receitas de exportação.

A elevação dos indicadores agregados pode ocultar uma estrutura econômica na qual a propriedade e as decisões permanecem concentradas, grande parte dos bens e serviços utilizados pela atividade é obtida fora da região e parcela significativa da riqueza é transferida para outros lugares. Nesse caso, o aumento da atividade econômica medida pelo município ou pelo país pode coexistir com o enfraquecimento das capacidades econômicas da própria comunidade.

A territorialização da riqueza pode ser acompanhada, nesse contexto, pela evolução de indicadores que expressem as capacidades econômicas e comunitárias existentes no próprio local. A diversidade das atividades econômicas, a presença de empreendimentos comunitários e cooperativas, a participação dos moradores nos processos decisórios, a permanência dos jovens, a capacidade de produção de alimentos e o grau de autonomia econômica em relação a empresas e agentes externos permitem observar essas capacidades ao longo do tempo. O acompanha-

[766] Na Mongólia, por exemplo, a mineração passou de 13% do PIB em 2002 para 30% em 2012, triplicando o tamanho da economia nacional. O mesmo se repete na Colômbia. A participação da mineração no PIB saltou de 1,8% em 2002 para 14,5% em 2011. Contudo, esse crescimento expressivo do PIB não se traduziu em redução da pobreza ou melhoria da qualidade de vida no nível comunitário.

mento desses indicadores possibilita verificar se a expansão da atividade mineral está associada ao fortalecimento ou ao enfraquecimento das bases econômicas da comunidade, inclusive quando os indicadores agregados do município ou do país registram crescimento.

Essa proposta também permite aproximar a avaliação econômica da ideia de uma contabilidade comunitária ecológica, desenvolvida por Wes Jackson, na qual a própria comunidade acompanha os fluxos de materiais e energia que atravessam seu espaço e procura reconhecer os custos sociais e ecológicos envolvidos.[767] Em vez de focar no PIB ou no fluxo monetário, esse modelo exige que a comunidade estabeleça "seus livros contábeis" avaliando a fonte de materiais ou de energia e estimando os custos comunitários e ecológicos reais envolvidos na movimentação desses recursos através de uma fronteira geográfica (um município ou bairro). Da mesma forma, aproxima-se da perspectiva de Max-Neef ao considerar a capacidade de satisfazer necessidades humanas fundamentais como parte do próprio desenvolvimento.[768] Não se trata, portanto, de abandonar a quantificação, mas de ampliar aquilo que é quantificado e de recolocar os indicadores econômicos dentro de uma avaliação mais ampla da vida comunitária.

Uma comunidade pode apresentar elevada arrecadação municipal, grande movimentação financeira e crescimento do PIB e, ainda assim, possuir pouca diversidade produtiva, baixa participação local na propriedade, reduzida capacidade de produção de alimentos e forte dependência de uma única empresa ou atividade. Em sentido inverso, uma economia de menor escala monetária pode apresentar maior diversidade de atividades, redes cooperativas mais desenvolvidas, maior capacidade de satisfazer necessidades internas e maior controle local sobre seus meios de produção. A diferença não está apenas no volume de riqueza que circula, mas nas capacidades que essa riqueza ajuda a construir e conservar.

---

[767] Jackson, 1994.

[768] Max-Neef, 1994.

A territorialização da riqueza exige, portanto, abandonar a ideia de que o desempenho econômico de uma comunidade possa ser adequadamente avaliado pelo crescimento do PIB, pelo volume de recursos movimentados ou pela arrecadação municipal. Esses indicadores podem descrever determinados fluxos monetários e fiscais, mas não expressam a viabilidade da comunidade e podem até registrar como crescimento processos que reduzem suas bases econômicas, sociais e ecológicas. O aumento da produção mineral, da arrecadação ou das exportações não constitui, por si mesmo, evidência de desenvolvimento local. Quando utilizado como medida de sucesso, o crescimento desses indicadores pode ocultar a concentração da propriedade, a dependência em relação a uma única atividade, a transferência da riqueza para agentes externos e a perda de patrimônio social e ecológico.

Quanto maior a diversidade produtiva, a distribuição da propriedade, a capacidade de atender às necessidades locais e a autonomia das organizações comunitárias, menor será a dependência em relação à própria atividade mineral. Jackson defende que o objetivo de uma comunidade deve ser alcançar o "sustento justo" e a resiliência local, em vez de perseguir o design proposital do crescimento econômico. Para ele, uma comunidade viável é aquela capaz de proteger seu patrimônio natural e social contra as forças do "imperialismo econômico" e das grandes corporações, que sugam a riqueza regional para acionistas distantes.[769] A riqueza proveniente de um recurso finito encontra, assim, sua principal contribuição para o território quando ajuda a construir uma economia capaz de continuar existindo depois que esse recurso se esgotar.

6.5.4.1 Estruturas Cooperativas e Propriedade Distribuída

A propriedade distribuída não implica que cada trabalhador ou pequeno produtor precise dispor individualmente de todos os meios necessários à produção. Pelo contrário, sua viabilida-

[769] Jackson, 1994.

de pode depender da capacidade de reunir pequenos capitais e organizar coletivamente estruturas que seriam inacessíveis a cada proprietário isoladamente. André Rebouças reconhecia essa importância ao defender formas de associação entre pequenos produtores como instrumento de fortalecimento econômico diante da concentração do capital e do poder dos intermediários.[770] A associação permitia combinar a propriedade distribuída com estruturas técnicas e produtivas de maior escala, preservando o vínculo entre o trabalhador e os meios de produção sem exigir que cada unidade produtiva assumisse individualmente todos os custos da atividade.

Essa ideia é particularmente relevante para a mineração de pequena escala. A aquisição de equipamentos de beneficiamento, sistemas de tratamento, estruturas de transporte e tecnologias de controle ambiental pode exigir investimentos superiores à capacidade financeira de trabalhadores ou pequenos mineradores individualmente. A resposta não precisa ser a transferência dessas etapas para uma grande empresa externa. Uma cooperativa pode reunir a produção de diversos trabalhadores, compartilhar equipamentos e instalações e organizar coletivamente etapas que exigem maior escala de investimento.

Uma cooperativa de beneficiamento, por exemplo, permitiria que pequenos mineradores concentrassem seus recursos e seu trabalho na extração, entregando o minério bruto a uma estrutura comum de processamento. Em vez de cada produtor assumir individualmente o investimento para adquirir máquinas de alto custo, a cooperativa poderia realizar o investimento e distribuir seus custos e resultados entre os associados. O mesmo princípio pode ser aplicado ao transporte, à manutenção de equipamentos, à recuperação ambiental e a outras atividades da cadeia mineral.

Essa organização também pode reduzir a dependência em relação a intermediários e agentes financeiros externos. Quando pequenos produtores não dispõem de estrutura própria de beneficiamento ou de canais diretos de comercialização, po-

[770] Rebouças, 1883.

dem ser obrigados a vender sua produção antecipadamente ou por preços determinados por compradores que concentram maior poder econômico. A associação dos pequenos capitais amplia a capacidade de negociação dos produtores, permitindo organizar coletivamente a comercialização e conservar no próprio circuito comunitário uma parcela maior do valor produzido.

A preocupação de Rebouças com essa questão estava relacionada à proteção do pequeno produtor contra aquilo que identificava como formas de parasitismo financeiro e comercial. A associação, nesse sentido, não constitui apenas uma forma de reduzir custos, ela amplia a capacidade econômica daqueles que possuem pouco capital individualmente, permitindo que participem de estruturas produtivas que, isoladamente, estariam fora de seu alcance.

Sob essa perspectiva, a mineração pode ser compreendida não como uma atividade isolada, mas como um conjunto de oportunidades produtivas que podem ser territorializadas através de formas cooperativas de organização.

Uma primeira possibilidade consiste nas cooperativas de trabalhadores, nas quais parte da força de trabalho participa não apenas da execução das atividades, mas também de sua gestão e dos resultados econômicos produzidos. Diferentemente da relação tradicional entre capital e trabalho, os trabalhadores tornam-se coproprietários do empreendimento ou de atividades associadas a ele.

Outra possibilidade se encontra nas cooperativas de beneficiamento mineral. Em vez de exportar matéria-prima imediatamente após a extração, parte do processamento inicial — britagem, classificação granulométrica, corte ou preparação industrial — pode ocorrer localmente, agregando valor ao produto e ampliando a retenção de riqueza no território.

O mesmo raciocínio aplica-se ao transporte. Cooperativas de transporte podem assumir parte da logística da atividade mineral, reduzindo a transferência de recursos para empresas externas e fortalecendo a capacidade econômica local. De modo

semelhante, cooperativas de manutenção industrial podem oferecer serviços de soldagem, usinagem, manutenção elétrica e mecânica, criando competências técnicas permanentes que permanecem úteis mesmo após o encerramento da mineração.

Particularmente relevante é a possibilidade de cooperativas ambientais responsáveis pelo monitoramento hídrico, pela recuperação de áreas degradadas, pela produção de mudas nativas e por atividades de reflorestamento. Nessa configuração, a própria comunidade passa a desempenhar papel ativo na proteção e restauração dos ecossistemas afetados pela atividade minerária, combinando o cumprimento das obrigações ambientais com a criação de competências, trabalho e estruturas institucionais que permanecem no território.

A viabilidade dessas estruturas cooperativas depende, contudo, da existência de organizações locais capazes de reconhecer e mobilizar os recursos já presentes na comunidade. Antes de definir quais cooperativas devem ser criadas ou quais atividades devem ser territorializadas, é necessário conhecer as capacidades existentes, incluindo habilidades profissionais, experiências de trabalho, iniciativas econômicas informais, disposições para o trabalho comunitário e conhecimentos adquiridos fora das instituições formais de ensino. Nesse sentido, a abordagem do Desenvolvimento Comunitário Baseado em Ativos (*Asset-Based Community Development* – ABCD), desenvolvida por John Kretzmann e John McKnight, oferece instrumentos particularmente relevantes para territórios dependentes da mineração.

Um desses instrumentos é o Inventário de Capacidades (*Capacity Inventory*), desenvolvido para mapear, antes de qualquer intervenção externa, as habilidades, ofícios, experiências e disposições já presentes numa comunidade.1 O instrumento se organiza em quatro partes: habilidades aprendidas em casa, no trabalho ou na comunidade — deliberadamente mais amplas do que competências formalmente empregatícias; participação prévia em trabalho comunitário e disposição para futuras contribuições; interesse e experiência empreendedora, incluindo

atividades informais de geração de renda que raramente se reconhecem como "negócio"; e informações de contato para viabilizar o acompanhamento.

Kretzmann e McKnight fazem, porém, uma ressalva metodológica que merece atenção especial: o inventário perde sua finalidade quando é utilizado apenas para produzir estatísticas agregadas sobre o bairro. Relatórios, tabelas e contagens de habilidades, sem retorno concreto às pessoas entrevistadas, podem fazer com que a comunidade se perceba apenas como objeto de pesquisa. Uma comunidade "estudada" sem retorno concreto, argumentam os autores, sente-se instrumentalizada e não convocada a contribuir.1 O propósito do inventário é vincular o reconhecimento das capacidades existentes à oportunidade real de exercê-las.[771] Essa ressalva converge diretamente com o princípio que orienta a aplicação do PSMM neste capítulo: o diagnóstico deve constituir o primeiro passo de uma ação, e não seu ponto de chegada. No contexto da mineração, um inventário desse tipo poderia anteceder a organização das cooperativas, permitindo que sua composição e suas atividades fossem construídas a partir dos ofícios, conhecimentos e disposições que a própria comunidade já possui, em vez de impor de fora um modelo de cooperativa de transporte, beneficiamento ou manutenção.

Uma vez identificadas essas capacidades, surge a necessidade de criar condições materiais para que elas possam ser mobilizadas. Nesse sentido, um segundo mecanismo consiste nas Cooperativas de Crédito para Desenvolvimento Comunitário (*Community Development Credit Unions* – CDCUs), sistematizadas a partir de décadas de experiência em bairros norte-americanos atingidos pela desindustrialização.[772] Diferentemente de instituições financeiras convencionais, essas cooperativas podem reunir três características particularmente relevantes para o caso mineiro: captam a maior parte de seu capital da própria comunidade local — não de investidores externos —,

[771] Kretzmann e McKnight, 1993.
[772] Ibidem.

mantêm todo o seu crédito circunscrito a fronteiras comunitárias previamente definidas, e são controladas democraticamente por seus próprios associados, não por acionistas ou por uma diretoria nomeada de fora.

Historicamente, essas cooperativas nasceram menos de iniciativas filantrópicas do que da mobilização direta de igrejas, associações de moradores e grupos locais que se organizaram porque o sistema financeiro convencional já não atendia às necessidades do território. Aplicada ao contexto de uma cidade mineira, uma CDCU capitalizada, por exemplo, com parte dos recursos de um fundo comunitário independente poderia cumprir uma função dupla: oferecer crédito a moradores e pequenos empreendedores historicamente excluídos do sistema bancário tradicional e manter sob controle da própria comunidade as decisões sobre a alocação desses recursos — quem recebe, para quê e em que condições —, em vez de transferi-las a uma instituição financeira externa.

O acesso ao crédito, contudo, não garante por si só que a riqueza circule dentro da comunidade. Também é necessário considerar para onde são dirigidos os gastos já realizados pelas instituições presentes no território. Kretzmann e McKnight mostram, nesse sentido, a importância das políticas formais de compra e contratação local. Instituições âncora — como hospitais, escolas, paróquias e universidades — possuem capacidade de influenciar significativamente a economia de um lugar por meio das decisões sobre onde compram seus insumos, quais serviços contratam e quem empregam.4

Um hospital estudado pelos autores redirecionou sistematicamente sua cadeia de fornecedores para o bairro — gráficas, fotógrafos freelance, serviço de transporte, distribuidora de alimentos —; uma rede escolar de Chicago, após pressão direta dos próprios moradores, obteve autonomia orçamentária para comprar material didático de fornecedores locais aprovados, gastando mais de vinte mil dólares na economia do bairro já no primeiro ano de aplicação da política; uma paróquia usou sua influência institucional para negociar com a associação comer-

cial da região um piso mínimo de 50% de contratação local nas obras da vizinhança.[773] Nenhum desses mecanismos depende de filantropia corporativa ou de programas voluntários de responsabilidade social — são políticas de compra contratualmente formalizadas, auditáveis e passíveis de exigência.

Essa lógica pode ser aplicada à relação entre uma mineradora e o município que a hospeda. Em vez de depender de programas voluntários de responsabilidade social, poderiam ser estabelecidos critérios formais e auditáveis de contratação e aquisição local, com percentuais mínimos de gasto em fornecedores, prestadores de serviço e mão de obra do próprio território nas atividades de transporte, manutenção, beneficiamento e logística. Nesse caso, a territorialização não dependeria apenas da criação de novas cooperativas, mas também da capacidade de orientar para elas e para outros empreendimentos locais parte dos fluxos econômicos que a mineração já movimenta.

Os mecanismos descritos até aqui não devem ser compreendidos como iniciativas isoladas, mas como componentes complementares de uma mesma estratégia de territorialização da riqueza mineral. Embora possam ser implementados gradualmente e em diferentes combinações, esses mecanismos se reforçam mutuamente quando articulados, pois cada um atua sobre uma dimensão distinta da organização econômica local. O Quadro 11 sintetiza as principais funções institucionais discutidas nesta seção e os instrumentos associados a cada uma delas.

[773] Ibidem.

Quadro 11 – Componentes organizacionais para a territorialização da riqueza mineral.	
Função no sistema	**Instrumentos e estruturas**
Identificar capacidades existentes	Inventário de Capacidades
Organizar a produção local	Cooperativas de trabalhadores, beneficiamento, transporte, manutenção e recuperação ambiental
Mobilizar e alocar recursos financeiros	CDCUs e fundo comunitário independente
Territorializar os fluxos econômicos	Compras e contratações locais
Construir uma base econômica pós-mineração	Propriedade distribuída e diversificação econômica

Experiências cooperativas em diferentes escalas mostram que a propriedade distribuída pode ser articulada a estruturas produtivas complexas. O complexo cooperativo Mondragón, no País Basco espanhol, iniciado em 1956, reúne cooperativas industriais, financeiras, educacionais e de serviços articuladas por mecanismos de intercooperação, financiamento e solidariedade entre as organizações. Seus fundos comuns são utilizados para apoiar investimentos, criação de empregos, educação e fortalecimento de cooperativas em dificuldades.[774]

A experiência das *Evergreen Cooperatives*, em Cleveland, mostra uma aplicação ainda mais próxima da estratégia aqui proposta. As cooperativas foram estruturadas a partir da articulação entre instituições âncora e organizações comunitárias, utilizando a demanda já existente dessas instituições para criar mercados para empresas de propriedade dos trabalhadores. *University Hospitals*, por exemplo, investiu recursos para a criação das cooperativas e passou a adquirir delas bens e serviços

[774] Sale, 2017.

em escala significativa.[775] O mecanismo é particularmente relevante porque demonstra que a territorialização da riqueza não depende apenas da criação de empreendimentos locais, mas também da orientação dos fluxos econômicos já existentes para organizações enraizadas no próprio território.

A experiência brasileira também recomenda cautela. Pesquisa realizada em cooperativas minerais de Minas Gerais mostrou que a simples constituição formal dessas organizações não garante a prática dos princípios do cooperativismo. Em parte dos casos estudados, a criação das cooperativas esteve associada a pressões externas e exigências de formalização, sem que isso resultasse necessariamente em cooperação efetiva, autonomia econômica ou fortalecimento da organização social.[776] Essa constatação reforça a importância do Inventário de Capacidades e da participação da própria comunidade na construção das estruturas propostas. Uma cooperativa territorializada não deve existir apenas porque uma cooperativa foi considerada um instrumento conveniente, mas porque existem pessoas, capacidades, relações produtivas e necessidades que podem sustentá-la.

Vista em conjunto, essa experiência permite compreender que a territorialização da riqueza depende menos da adoção isolada de um determinado modelo institucional do que da articulação entre propriedade, capacidade produtiva, financiamento, demanda e participação local. A riqueza deixa de fluir predominantemente para organizações externas quando trabalhadores, pequenos produtores, cooperativas e outras organizações da própria comunidade passam a participar da propriedade, da produção e dos circuitos econômicos que a atividade mineral movimenta.

6.6 Uma Leitura Sistêmica da Mineração

A reconstrução dos casos de Mariana e Brumadinho permitiu identificar cinco fatores que estruturam a atividade minerá-

[775] Ibidem.
[776] Silva et al., 2022.

ria: Autoridade, Trabalho, Apropriação da Riqueza, Organização Social e Relação Ecológica. A análise desenvolvida ao longo deste capítulo mostrou que esses fatores também estão presentes nas diferentes contribuições teóricas examinadas, ainda que recebam denominações distintas. Eles expressam, portanto, aspectos recorrentes da realidade de qualquer empreendimento minerário.

A perspectiva sistêmica permite avançar dessa identificação para a análise das relações entre esses fatores e das consequências produzidas por sua configuração. A mineração convencional examinada no início deste capítulo organiza esses fatores de maneira a concentrar autoridade, riqueza e capacidade de decisão em estruturas corporativas e governamentais, enquanto a comunidade permanece com participação limitada sobre os processos que afetam sua própria vida. Essa configuração tende a reforçar a dependência econômica, enfraquecer as organizações comunitárias e ampliar a distância entre aqueles que decidem sobre o empreendimento e aqueles que convivem com seus efeitos. Em situações extremas, como as observadas em Mariana e Brumadinho, essas relações podem contribuir para a produção de desastres de grandes proporções.

A mineração de escala comunitária apresentada na seção anterior parte de outra organização desses mesmos fatores. Ao aproximar a autoridade, o trabalho, a propriedade, a riqueza e a capacidade de decisão da comunidade, procura estabelecer relações capazes de fortalecer a autonomia local, diversificar a economia e ampliar a responsabilidade sobre os efeitos sociais e ecológicos da atividade. A diferença entre as duas configurações, portanto, não está na presença dos fatores, mas nas relações que se estabelecem entre eles e nos resultados que essas relações tendem a produzir.

6.6.1 Dois Modelos de Mineração

Enquanto a mineração convencional organiza-se em torno da extração de recursos e da transferência de riqueza para agentes externos ao território, a proposta aqui apresentada pro-

cura manter riqueza, capacidade decisória e responsabilidades vinculadas à comunidade local.

O Quadro 12 sintetiza as duas configurações, reunindo os principais resultados da reconstrução dos casos e da proposta de mineração de escala comunitária desenvolvida neste capítulo.

Quadro 12 – Comparação entre mineração convencional e mineração comunitária

Fator	Configuração convencional	Configuração comunitária
Autoridade	A autoridade sobre o empreendimento concentra-se em estruturas burocráticas corporativas e governamentais externas à comunidade afetada.	A autoridade é exercida por organizações comunitárias enraizadas no território, por meio de mecanismos de autogoverno e subsidiariedade.
Trabalho	O trabalho é organizado segundo as necessidades operacionais do empreendimento, com forte dependência de especialização técnica e agentes externos.	O trabalho é organizado de forma a fortalecer capacidades locais, ampliar a participação dos moradores e favorecer formas associativas de produção.
Apropriação da Riqueza	A maior parte da riqueza gerada é apropriada por acionistas, investidores e centros econômicos externos à comunidade.	A riqueza permanece e circula localmente por meio de cooperativas, beneficiamento local e outras formas de distribuição territorial do valor gerado.
Organização Social	A participação da comunidade é predominantemente consultiva e compensatória, com influência limitada sobre as decisões estratégicas do empreendimento.	A comunidade participa de forma deliberativa da definição dos rumos do empreendimento, influenciando decisões sobre exploração, investimentos e monitoramento.

Relação Ecológica	A gestão ambiental concentra-se na extração, na mitigação dos impactos e no cumprimento das exigências regulatórias.	A gestão ambiental integra recuperação ecológica, monitoramento comunitário e responsabilidade intergeracional.

O que distingue a mineração convencional da mineração comunitária não é a presença ou ausência de determinados fatores, mas a forma como cada um deles se encontra configurado e as dinâmicas que emergem de suas interações. Dependendo dessa configuração, o sistema pode produzir ciclos de deterioração que enfraquecem progressivamente a viabilidade comunitária ou ciclos de reforço mútuo que contribuem para sua sustentação ao longo do tempo.

Essa distinção ajuda a compreender a diferença fundamental entre os dois modelos comparados. O Quadro 13 apresenta a configuração típica dos fatores na mineração convencional.

Quadro 13 – Mineração Convencional

Modalidade	**Fator**	**Configuração**
Jurídica	Autoridade	Governança burocrática
Operacional	Trabalho	Emprego Especializado
Econômica	Apropriação da Riqueza	Extração e concentração
Social	Organização Social	Participação consultiva
Biótica	Relação Ecológica	Exploração e Mitigação de impactos

A configuração convencional retoma as relações examinadas na seção 6.4.3. Naquele momento, a análise dos ciclos de retroalimentação mostrou como a concentração da Autoridade, a organização do Trabalho, a Apropriação da Riqueza, o enfraquecimento da Organização Social e a forma de Relação Eco-

lógica se articulam e contribuem para a reprodução da configuração observada nos casos de Mariana e Brumadinho.

A proposta de mineração comunitária desenvolvida neste capítulo pode ser compreendida como uma tentativa de reconfigurar essas relações. O Quadro 14 apresenta a configuração comunitária dos mesmos fatores.

Quadro 14 – Mineração Comunitária

Modalidade	**Fator**	**Configuração**
Jurídica	Autoridade	Titularidade Comunitária
Operacional	Trabalho	Trabalho Vocacional
Econômica	Apropriação da Riqueza	Territorialização da Riqueza
Social	Organização Social	Autogoverno Comunitário
Biótica	Relação Ecológica	Regeneração Ecológica

As interações entre essas configurações dão origem a novos vínculos, representados no Gráfico multimodal da mineração comunitária, apresentado a seguir (Figura 27). O gráfico reúne as relações que estruturam o modelo proposto e permite visualizar sua articulação.

A explicação a seguir examina os vínculos entre Trabalho, Organização Social, Apropriação da Riqueza, Autoridade e Relação Ecológica, mostrando como elas se articulam e participam da formação dos ciclos de retroalimentação que caracterizam a mineração comunitária.

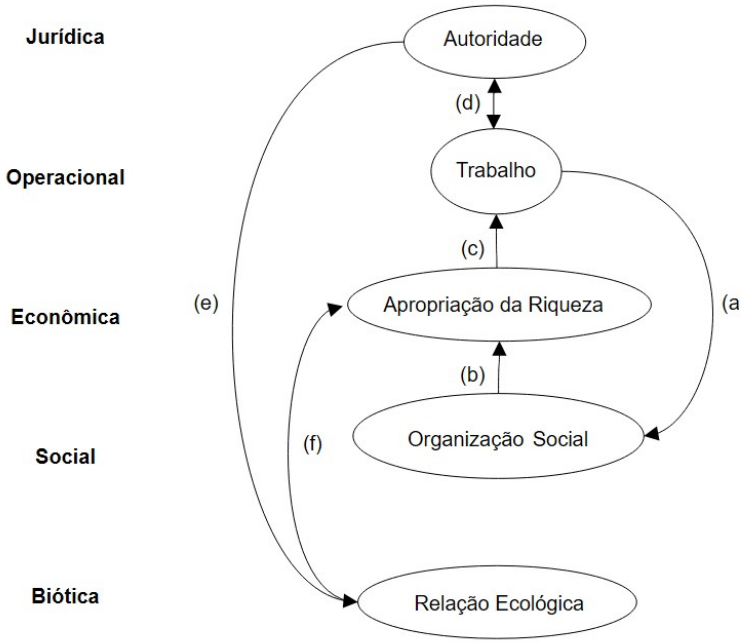


Figura 27 – Modelo Sistêmico Multimodal da mineração comunitária e seus ciclos de reforço mútuo.

O gráfico apresenta três ciclos de retroalimentação. O primeiro relaciona Trabalho, Organização Social e Apropriação da Riqueza. O segundo estabelece uma relação de mão dupla entre Trabalho e Autoridade. O terceiro liga Autoridade, Relação Ecológica e Apropriação da Riqueza, conectando o cuidado ambiental ao mesmo circuito de reprodução econômica. Esses ciclos não funcionam separadamente. Seus pontos de conexão fazem com que as relações sociais, econômicas e ecológicas se reforcem mutuamente.

O primeiro ciclo parte do trabalho e passa pela organização social, pela apropriação da riqueza e retorna ao próprio trabalho: Trabalho → Organização Social → Apropriação da Rique-

za → Trabalho. Esse ciclo estabelece uma diferença importante em relação à mineração convencional, pois a atividade econômica deixa de ser o princípio que organiza o trabalho. O trabalho passa a ser realizado segundo uma estrutura social construída pela própria comunidade, e a riqueza produzida nessa estrutura retorna para sustentá-lo.

6.6.1.1 (a) Trabalho → Organização Social

Na mineração comunitária, a forma de organizar o trabalho exige uma estrutura social capaz de sustentá-la. Em vez de organizar a atividade a partir de empregos especializados definidos por uma estrutura produtiva externa, como ocorre na mineração convencional, o trabalho é concebido em relação às capacidades das pessoas, às necessidades da comunidade e às possibilidades de participação daqueles que nele estão envolvidos. A literatura examinada mostra que essa aproximação entre trabalho, propriedade e decisão permite recuperar conhecimentos derivados da experiência, ampliar a participação dos trabalhadores e manter a atividade em uma escala compatível com a capacidade de a comunidade compreendê-la e governá-la.

Essa forma de trabalho requer, por sua vez, uma organização social baseada em relações de proximidade, cooperação e responsabilidade compartilhada. A comunidade precisa estar organizada em unidades suficientemente próximas para que as pessoas possam participar das decisões e assumir responsabilidades sobre aquilo que fazem, ao mesmo tempo em que essas unidades se articulam em níveis mais amplos quando as decisões ultrapassam sua capacidade de atuação. A estrutura familiar-comunitária discutida na seção 6.5.3.2 oferece, nesse sentido, uma referência para pensar uma organização fundada em responsabilidades recíprocas e na contribuição de cada pessoa para a sustentação do conjunto. O vínculo Trabalho → Organização Social expressa, portanto, uma relação normativa. A forma como o trabalho é concebido e realizado orienta a estrutura social necessária para sua realização.

6.6.1.2 (b) Organização Social → Apropriação da Riqueza

Uma organização social capaz de participar das decisões econômicas também interfere na forma como a riqueza é apropriada e distribuída. A proposta desenvolvida na seção 6.5 aproxima propriedade, trabalho e decisão, evitando que a participação comunitária se reduza à distribuição posterior de benefícios.

Ao reunir as pessoas em uma estrutura de responsabilidades compartilhadas, o empreendimento cria uma economia orientada para a sustentação de seus próprios membros e da comunidade à qual pertencem. Cooperativas, empresas locais, propriedade compartilhada e fundos comunitários constituem mecanismos pelos quais a comunidade pode participar da própria estrutura que produz e administra a riqueza.

A territorialização da riqueza amplia esse princípio. A riqueza produzida pela mineração não precisa permanecer limitada à forma monetária nem ser transferida imediatamente para agentes externos. Ela pode ser convertida em propriedade, meios de produção, infraestrutura, conhecimentos, organizações e outras capacidades duradouras vinculadas à comunidade. Os trabalhadores não produzem apenas para uma estrutura externa de propriedade; seu trabalho gera os recursos necessários à continuidade das relações sociais que constituem o próprio empreendimento. A modalidade social, portanto, estabelece um vínculo determinativo com a apropriação da riqueza, pois a forma de organização das pessoas condiciona a forma pela qual os recursos produzidos são apropriados.

6.6.1.3 (c) Apropriação da Riqueza → Trabalho

Os recursos gerados pelo empreendimento retornam ao trabalho, proporcionando os meios necessários para sua continuidade. A riqueza apropriada pela comunidade deve sustentar os trabalhadores, manter os equipamentos e as condições de produção, financiar melhorias e atender às necessidades da comunidade. Quando os resultados da atividade são convertidos em

equipamentos, infraestrutura, formação, capital produtivo e outros recursos mantidos na comunidade, eles ampliam a capacidade local de produzir novamente.

Esse retorno também modifica a finalidade da riqueza. Ela não é destinada apenas à reprodução da própria atividade mineral, mas deve fortalecer outras formas de trabalho e diversificar a economia local. Agricultura, pequenas indústrias, serviços, cooperativas, beneficiamento e outras atividades podem ser fortalecidos pela riqueza produzida durante o período de exploração. A modalidade econômica, assim, estabelece um vínculo determinativo com a modalidade operacional fechando o primeiro ciclo. O resultado não é simplesmente a expansão da atividade econômica, mas a formação de um processo capaz de sustentar continuamente o trabalho e, por meio dele, a própria organização comunitária.

A partir do trabalho forma-se ainda um segundo ciclo, relacionado à autoridade: Trabalho → Autoridade → Trabalho. Nesse caso, o trabalho não produz apenas recursos materiais e vínculos sociais; ele também contribui para formar a autoridade necessária à condução do empreendimento.

6.6.1.4 (d) Trabalho ↔ Autoridade

A autoridade, nesse modelo, não decorre principalmente da concentração de riqueza ou da posição ocupada na estrutura de propriedade. Ela se apoia na participação efetiva no trabalho e na responsabilidade assumida perante a comunidade. Quem trabalha adquire conhecimento sobre as atividades, enfrenta suas dificuldades, assume responsabilidades e participa das consequências das decisões tomadas. A literatura sobre democratização da empresa mostra que os trabalhadores possuem conhecimentos derivados da experiência direta e que sua participação pode alcançar as decisões que organizam a própria atividade. O trabalho, portanto, contribui para constituir uma autoridade fundada na experiência, na responsabilidade e na participação. Quando trabalho, propriedade e decisão são aproxi-

mados, reduz-se a distância entre aqueles que executam o trabalho e aqueles que definem suas condições.

Na mineração comunitária, essa relação se amplia para a própria comunidade. Os moradores participam não apenas como força de trabalho, mas também como pessoas que conhecem as condições sociais, econômicas e ecológicas afetadas pelo empreendimento. O conhecimento produzido pela experiência, associado a mecanismos de participação e autogoverno, fortalece a capacidade de exercer autoridade sobre as decisões que orientam a atividade.

A relação inversa completa esse ciclo. A autoridade compartilhada estabelece as condições normativas segundo as quais o trabalho deve ser realizado. A proposta de autogoverno e subsidiariedade desenvolvida na seção 6.5 implica que as decisões sejam mantidas tão próximas quanto possível das pessoas que vivem e trabalham com suas consequências. Por meio das estruturas de governança comunitária, a comunidade pode definir prioridades, distribuir responsabilidades, estabelecer critérios de justiça e exigir prestação de contas. O trabalho, dessa forma, não é apenas executado com eficiência, mas submetido a regras e finalidades estabelecidas pela própria comunidade.

Isso alcança questões concretas da atividade minerária: limites de produção, ritmo das operações, adoção de tecnologias, segurança, utilização da infraestrutura local, gestão dos rejeitos, distribuição dos resultados e planejamento do encerramento da mina. O mercado e os critérios de rentabilidade perdem poder de influência sobre a atividade, e não determinam, sozinhos, suas finalidades. A autoridade exercida pela comunidade orienta, assim, a forma como o trabalho será organizado e os limites dentro dos quais ele poderá ocorrer. Na Figura 27, esse vínculo corresponde à relação que é tanto normativa como determinativa entre a modalidade jurídica e a modalidade operacional.

A autoridade orienta o trabalho e, ao mesmo tempo, é renovada pela participação e pela responsabilidade desenvolvidas no próprio trabalho.

A mesma autoridade compartilhada estabelece, paralelamente, uma relação direta com o ambiente: Autoridade → Relação Ecológica → Apropriação da Riqueza.

6.6.1.5 (e) Autoridade → Relação Ecológica

A mesma autoridade que orienta o trabalho estabelece as condições da relação entre o empreendimento e o ambiente. Em vez de depender exclusivamente de mecanismos externos de fiscalização e conformidade e limitar-se ao cumprimento de exigências externas, indicadores legais e à mitigação dos danos produzidos, a comunidade pode assumir diretamente a responsabilidade pelo território no qual vive e que a atividade está inserida. A relação ecológica passa, assim, a ser orientada pelo cuidado com os recursos dos quais a própria comunidade depende, incorporando à gestão do empreendimento a preservação das condições ambientais que sustentam sua continuidade.

Essa orientação pode assumir formas concretas, como o monitoramento comunitário, as cooperativas ambientais, a recuperação de áreas degradadas, a produção de mudas nativas, o reflorestamento e o acompanhamento das condições hídricas. A autoridade comunitária passa, desse modo, a participar diretamente da definição das condições ecológicas da atividade e não apenas a reagir aos impactos depois que eles ocorrem.

6.6.1.6 (f) Relação Ecológica → Apropriação da Riqueza

A relação ecológica retorna à economia porque as condições ambientais constituem também condições de produção e de vida. Água, solo, vegetação e demais recursos naturais sustentam atividades que produzem e fazem circular riqueza no território. Sua preservação mantém essas possibilidades abertas; sua degradação pode eliminá-las.

Na mineração comunitária, o cuidado ambiental pode, portanto, ser compreendido como parte da própria territorialização da riqueza. A recuperação dos ecossistemas, a prevenção de passivos, a preservação das condições produtivas e a redução

dos riscos associados à atividade contribuem para conservar capacidades que permanecem na comunidade. Além disso, atividades de recuperação ambiental e monitoramento podem gerar trabalho, conhecimento e estruturas organizacionais que continuam úteis para o território. O valor produzido pelo cuidado ecológico não se resume a uma receita imediata, ele inclui a preservação das condições que permitem à comunidade continuar produzindo, trabalhando e vivendo no lugar.

A relação ecológica, portanto, estabelece um vínculo determinativo com a apropriação da riqueza, fazendo com que o cuidado ambiental também contribua para sua conservação e reprodução ao longo do tempo.

Os seis vínculos mostram, assim, uma configuração distinta daquela reconstruída para a mineração convencional. Naquele modelo, a Autoridade organiza o Trabalho, o Trabalho produz riqueza concentrada, a concentração interfere na Organização Social, a organização enfraquecida limita a capacidade de influenciar a Autoridade e as condições ecológicas resultantes retornam à economia e à própria Autoridade, reproduzindo a dependência observada nos casos de Mariana e Brumadinho. Na configuração comunitária, os mesmos fatores são reorganizados de modo que o trabalho possa fortalecer a organização social, a organização social possa orientar a apropriação da riqueza, a riqueza possa retornar ao trabalho, e a participação no trabalho possa ampliar a capacidade de exercer autoridade. Essa autoridade orienta simultaneamente o trabalho e a relação ecológica, enquanto a preservação das condições ecológicas retorna à apropriação da riqueza.

O sistema pode ser sintetizado, portanto, pelo encadeamento Trabalho → Organização Social → Apropriação da Riqueza → Trabalho → Autoridade → Trabalho, ao qual se articula o circuito Autoridade → Relação Ecológica → Apropriação da Riqueza. A mineração comunitária, nessa configuração, não é concebida como uma atividade que simplesmente distribui melhor os benefícios de uma estrutura já existente. Trata-se de

uma reorganização das relações entre trabalho, riqueza, organização social, autoridade e ambiente, de modo que os resultados de cada relação possam constituir condições para a continuidade e o fortalecimento das demais.

O resultado é um sistema no qual trabalho, organização social, riqueza, autoridade e relação ecológica passam a reforçar-se mutuamente, fazendo com que a atividade extrativa contribua para a reprodução da própria comunidade que a governa.

6.6.2 Mineração e Viabilidade Comunitária

Vista dessa forma, a mineração deixa de ser um empreendimento isolado e passa a integrar um conjunto mais amplo de relações econômicas, sociais, operacionais, bióticas e institucionais que moldam a trajetória de uma comunidade ao longo do tempo. A questão fundamental já não é apenas como extrair recursos de maneira mais eficiente, mas como organizar essa atividade de modo compatível com a viabilidade do território e das pessoas que nele vivem.

O problema central não reside necessariamente na extração de recursos naturais em si, mas no modelo extrativista que organiza essa extração a partir da concentração da propriedade, da transferência da riqueza para atores externos ao território e da subordinação das comunidades locais aos interesses de centros econômicos distantes. Essa distinção encontra fundamentação adicional no trabalho do sociólogo Stephen Bunker sobre a Amazônia. Ao analisar as economias extrativas orientadas para os mercados externos, Bunker mostra que a extração e a exportação de recursos naturais transferem para outras regiões valores presentes no ambiente físico da região produtora, ao mesmo tempo que degradam os sistemas ecológicos e sociais dos quais a própria economia local depende.[777]

Nesse sentido, a territorialização da riqueza pode ser compreendida como uma tentativa de transição para formas pós-extrativistas de organização econômica, nas quais os recursos naturais permanecem subordinados à continuidade e à viabili-

[777] Bunker, 1985.

dade da comunidade, e não o contrário. Essa distinção retoma, em outro vocabulário, a oposição de Berry entre exploração e cuidado com que a seção 6.5.1 começou. Ela também corresponde à passagem daquilo que Boulding denominou "economia do *cowboy*", baseada na disponibilidade aparentemente ilimitada de recursos e na externalização dos resíduos, para uma "economia do astronauta", obrigada a reconhecer os limites e as interdependências dos sistemas dos quais depende.

> O *cowboy* das planícies infinitas vive de um fluxo linear de fonte a depósito de rejeito, sem necessidade de reciclar nada. O astronauta em sua pequena cápsula vive de ciclos materiais fechados e retroalimentação imediata, tudo sob controle total, subordinado às suas necessidades. Para o *cowboy*, a escala de sua economia é irrelevante; para o astronauta, a escala é tudo.[778]

A territorialização procura justamente tornar visíveis essas interdependências, reintegrando os efeitos da atividade econômica ao horizonte de responsabilidade daqueles que dela se beneficiam. Nessa perspectiva, a riqueza produzida pela mineração não é avaliada apenas pelo valor que consegue extrair do recurso mineral, mas também pelas capacidades econômicas, sociais e ecológicas que permanece capaz de sustentar no lugar onde a extração ocorre.

6.6.3 Responsabilidade Intergeracional e o Planejamento do Pós-Mineração

Depois de considerar as condições de implantação e desenvolvimento da atividade minerária, a análise precisa avançar para o momento em que esse ciclo chega ao fim. A finitude dos recursos minerais coloca, então, em primeiro plano a continuidade da comunidade depois do encerramento da exploração. André Rebouças já chamava atenção para esse problema no século XIX ao discutir os efeitos dos ciclos econômicos baseados na exploração mineral. Ao recuperar a experiência de Diaman-

[778] Boulding, 1966.

tina, ele descreve uma região profundamente atingida pela interrupção da atividade diamantífera, com trabalhadores sem ocupação e população submetida à miséria diante da ausência de alternativas econômicas e do acesso limitado à terra para cultivo.[779]

A importância dessa observação para a mineração comunitária está justamente na relação entre extração mineral e continuidade econômica. O problema não está apenas no esgotamento da jazida. Ele aparece quando uma comunidade organiza sua produção, sua renda e parte de sua estrutura social em torno de um recurso que, por sua própria natureza, não pode ser reposto. Enquanto a jazida permanece produtiva, a dependência pode ser pouco perceptível. Quando a produção diminui ou termina, porém, torna-se evidente se a riqueza acumulada durante o ciclo mineral foi capaz de preservar e fortalecer as formas de trabalho já existentes na comunidade, como a agricultura e a pesca, além de criar novas possibilidades de produção e renda.

Essa preocupação aproxima a experiência histórica observada por Rebouças da ideia de responsabilidade intergeracional. O recurso mineral pertence ao patrimônio natural de uma região, mas sua existência é limitada. A comunidade, por sua vez, precisa atravessar o período de exploração e permanecer capaz de produzir, trabalhar, organizar-se e viver depois que a extração terminar. Por isso, a mineração comunitária não pode ser concebida como uma atividade isolada. A exploração mineral precisa estar associada a uma base econômica suficientemente diversificada para que a comunidade não dependa indefinidamente da continuidade da jazida.

A diversificação pode assumir diferentes formas conforme as condições locais: agricultura familiar, beneficiamento de alimentos, pequenas indústrias, serviços, artesanato, educação técnica, manutenção de equipamentos, cooperativas e outras atividades produtivas. O objetivo não é simplesmente criar ocupações alternativas para os trabalhadores da mina, mas uti-

[779] Rebouças, 1883.

lizar parte da riqueza produzida durante o ciclo mineral para ampliar a capacidade produtiva da própria comunidade. A mineração passa, assim, a participar de um processo econômico mais amplo, no qual seus resultados são convertidos em condições permanentes de produção.

Essa questão também modifica a maneira de compreender a riqueza mineral. Uma parcela dos resultados da mineração pode ser consumida durante o período de exploração, mas outra parcela precisa permanecer sob a forma de ativos que continuem úteis quando a jazida já não estiver sendo explorada. Educação, infraestrutura, equipamentos, pequenas unidades produtivas, conhecimento técnico, recuperação ambiental e organizações comunitárias são exemplos de recursos que podem atravessar o encerramento da atividade mineral. A riqueza extraída deixa, nesse caso, de representar apenas um resultado do presente e passa a constituir meios para o trabalho das gerações seguintes.

A experiência histórica lembrada por Rebouças ajuda a compreender por que essa conversão precisa ocorrer durante o próprio ciclo de exploração. Esperar o esgotamento da jazida para pensar nas alternativas econômicas significa iniciar a transição justamente quando a principal fonte de recursos está desaparecendo. A diversificação precisa acompanhar a mineração enquanto ela ainda produz riqueza e conhecimento suficientes para sustentá-la.

O pós-mineração, nesse sentido, começa antes mesmo do encerramento da mina, pois as decisões tomadas durante a atividade mineradora já condicionam as possibilidades das gerações que virão. Por isso, a responsabilidade intergeracional está diretamente relacionada à questão da escala discutida nas seções anteriores. Empreendimentos concebidos para atender mercados globais tendem a operar sob uma lógica de maximização da produção, acelerando o esgotamento das jazidas e reduzindo o horizonte temporal disponível para as comunidades que delas dependem. Em contrapartida, uma mineração orientada pelas necessidades do território e submetida a mecanis-

mos locais de governança tende a favorecer ritmos mais moderados de extração. O resultado não é apenas a redução de impactos sociais e ambientais, mas também a ampliação da vida útil dos recursos minerais, permitindo que seus benefícios sejam distribuídos ao longo de várias gerações em vez de concentrados em um único ciclo econômico.

Esse ritmo moderado não precisa permanecer uma aspiração sem critério. Herman Daly propôs três regras operacionais para determinar quando o uso dos recursos pode ser considerado ecologicamente sustentável: os recursos renováveis devem ser explorados em ritmo igual ou inferior à sua regeneração; os recursos não renováveis, consumidos em ritmo compatível com o desenvolvimento de alternativas; e os rejeitos, lançados em quantidade que não ultrapasse a capacidade de assimilação segura dos ecossistemas.[780]

Aplicada à mineração, a segunda regra oferece um critério objetivo. A extração de recursos não renováveis deve ocorrer em ritmo compatível com o desenvolvimento de alternativas, como a ampliação da reciclagem de metais, a substituição de minerais escassos por materiais mais abundantes e, no caso dos combustíveis fósseis, a expansão de fontes renováveis de energia. O ritmo de extração, portanto, não deveria ser determinado pela possibilidade de maximizar o retorno financeiro de curto prazo do empreendimento.

Quanto à terceira regra, relativa aos rejeitos, Daly estabelece que sua emissão deve ocorrer em ritmo compatível com a capacidade de assimilação dos ecossistemas. Estimativas da pegada ecológica global indicam que a humanidade consome recursos e emite rejeitos numa taxa 50% superior à capacidade de regeneração dos ecossistemas — uma condição de "sobrecarga ecológica" equivalente a viver de dívida, liquidando o estoque de capital natural do planeta.[781]

Nesse contexto, desacelerar setores intensivos em extração material não é uma imposição arbitrária a uma indústria espe-

[780] Daly e Cobb, 1989.
[781] Dietz e O'Neill, 2013.

cífica, mas parte de uma correção de rota que a humanidade como um todo já não pode adiar. O reconhecimento desses limites não elimina, contudo, a importância da escala local. Pelo contrário, é nos territórios e comunidades concretas que a responsabilidade por respeitá-los se torna efetiva.

Essas exigências tornam o planejamento do pós-mineração parte do próprio desenho do empreendimento. Desde o início da atividade devem ser definidas as condições de encerramento, a destinação das áreas utilizadas, os recursos necessários à recuperação ambiental, a manutenção das estruturas que permanecerão úteis e as atividades econômicas capazes de substituir progressivamente a mineração. O planejamento não deve tratar o fechamento da mina como um acontecimento futuro e separado da atividade produtiva, mas como uma etapa prevista desde sua implantação.

A questão temporal torna-se ainda mais evidente quando se considera a natureza física dos recursos minerais. Diferentemente dos recursos renováveis, cujo uso pode ser compatível com sua regeneração dentro de determinados limites, os minerais são estoques finitos. Herman Daly, apoiado na análise de Nicholas Georgescu-Roegen, chama atenção para essa diferença ao mostrar que a economia industrial passou a depender cada vez mais da utilização de estoques de energia e matéria acumulados no subsolo.[782]

Georgescu-Roegen descreve a Revolução Industrial como uma mudança na fonte última do sustento humano. A base energética da sociedade passou da dependência da energia solar que chega continuamente à Terra, em uma quantidade que não está sob nosso controle, para a exploração da energia armazenada no subsolo — carvão, petróleo e outros recursos minerais. Enquanto o fluxo de energia solar é contínuo e sua disponibilidade independe da vontade humana, os estoques subterrâneos são finitos, embora a velocidade com que são extraídos e consumidos seja, em grande medida, determinada por

[782] Georgescu-Roegen, 1971 apud Daly e Cobb, 1989.

nós.[783] A geração presente decide a velocidade com que esses estoques são consumidos, enquanto as gerações futuras receberão um estoque menor e terão de lidar também com os efeitos deixados por sua utilização.[784]

A mineração, nesse sentido, não é uma atividade econômica entre outras, ela é, estruturalmente, um ato de tomar emprestado do futuro a uma taxa que apenas a geração presente decide — e sobre a qual as gerações futuras não têm palavra alguma.

A literatura sobre mineração no norte do Canadá documenta com clareza o que acontece quando essa assimetria é ignorada: décadas de exploração mineral prometeram, a sucessivos governos, o que Arn Keeling e John Sandlos chamam do "sonho do Norte" — desenvolvimento e prosperidade regional — mas frequentemente entregaram apenas "benefícios efêmeros", deixando para trás um legado tóxico de barragens de rejeitos e pilhas de estéril, além de uma história de deslocamento social e econômico que segue afetando desproporcionalmente as comunidades indígenas do norte canadense.[785] O termo técnico para isso — mina órfã (*orphaned mine*), um sítio abandonado para o qual nenhum proprietário privado pode ser identificado a fim de estabelecer responsabilidade — é uma confissão institucional do problema: o passivo permanece; o responsável, não.

A mina de cobre a céu aberto Berkeley Pit, em Butte (Montana), operada pela *Anaconda Copper Mining Company* e posteriormente pela ARCO entre 1955 e 1995, ilustra de forma particularmente clara a dissociação temporal entre os benefícios econômicos da mineração e seus impactos ambientais. Após a extração de mais de um bilhão de toneladas de minério, a cava foi abandonada e transformou-se em um dos maiores sítios de contaminação do programa *Superfund* dos Estados Unidos. Atualmente preenchida por um lago de água ácida e me-

[783] Georgescu-Roegen, 1971.

[784] Sobre a dependência da economia industrial em relação aos estoques finitos do subsolo e os desdobramentos do declínio energético para a autonomia e resiliência das gerações futuras, veja também a análise de Vianna, 2026.

[785] Keeling e Sandlos, 2015.

tais tóxicos, a área ganhou notoriedade quando, no ano do abandono da mina, 350 gansos-da-neve morreram após utilizá-la como ponto de descanso durante sua rota migratória. A riqueza extraída teve duração de algumas décadas; o passivo ambiental, contudo, tende a persistir por séculos.[786]

Como resume o aforismo de Amory Lovins, "minas não crescem uma segunda safra" — o que exige tratar o uso do território não como apropriação definitiva, mas como um dever custodial temporário, com usuários futuros e destinação pós-mineração definidos desde o início do empreendimento, não improvisados no momento do encerramento.[787] Como escreveu Kelly a propósito de séculos de mineração de chumbo no norte da Inglaterra, "metais pesados não são um problema que simplesmente desaparece" — o legado permanece exatamente onde foi deixado, muito depois de a riqueza que o gerou ter sido embolsada em outro lugar.[788]

A responsabilidade intergeracional envolve, portanto, duas obrigações relacionadas. A primeira consiste em utilizar o recurso mineral de maneira compatível com sua finitude. A segunda consiste em transformar parte da riqueza produzida durante sua exploração em condições que permaneçam disponíveis quando o recurso tiver sido esgotado. O primeiro cuidado limita o ritmo de consumo; o segundo procura assegurar que a comunidade não perca, com o fim da mineração, as condições econômicas e sociais necessárias à sua continuidade.

Essa perspectiva também permite compreender que o encerramento da mineração não produz necessariamente o mesmo resultado em todas as comunidades. Onde a atividade mineral permanece integrada a uma economia diversificada, seu término pode representar a substituição de uma atividade por outras já existentes ou desenvolvidas durante o ciclo produtivo. Onde a mineração se tornou a principal fonte de emprego, renda, infraestrutura e arrecadação, o encerramento pode atingir simul-

[786] Dietz e O'Neill, 2013.
[787] Lovins, 1973 apud Bridge, 2004a.
[788] Kelly, 1988 apud Bridge, 2004a.

taneamente diferentes fatores da vida comunitária. A dependência de uma única atividade econômica transforma o esgotamento da jazida em uma ameaça à própria continuidade da comunidade.

Por isso, a mineração comunitária deve ser concebida desde o início como uma atividade com prazo econômico definido e responsabilidade permanente. A questão central não é apenas o que a atividade mineradora produz durante seu período de operação, mas o que permanece na comunidade quando a extração chegar ao fim. É nesse ponto que a viabilidade econômica do empreendimento precisa ser relacionada à viabilidade sistêmica da comunidade.

O sucesso de um empreendimento não pode ser medido apenas pela expansão de um único fator — por exemplo, a riqueza econômica. Uma comunidade permanece viável quando os ganhos econômicos fortalecem simultaneamente suas capacidades sociais, operacionais e ambientais. Quando o crescimento de um fator ocorre à custa da deterioração dos demais, o resultado pode ser prosperidade temporária acompanhada de fragilidade crescente no longo prazo.

6.6.4 Síntese: Escala, Legitimidade e Viabilidade

As subseções anteriores examinaram a mineração comunitária a partir de diferentes aspectos de uma mesma configuração sistêmica. A seção 6.6.1 mostrou como Autoridade, Trabalho, Apropriação da Riqueza, Organização Social e Relação Ecológica podem estabelecer ciclos de reforço mútuo. A seção 6.6.2 deslocou a análise para a viabilidade da comunidade, mostrando que a riqueza produzida pela mineração só contribui efetivamente para o desenvolvimento local quando permanece vinculada à capacidade produtiva, social e ecológica do lugar. A seção 6.6.3 ampliou esse critério no tempo, mostrando que a atividade mineral precisa ser organizada de modo a preservar as condições de continuidade da comunidade depois do encerramento da exploração.

Esses aspectos não constituem exigências independentes que possam ser acrescentadas umas às outras. A escala do empreendimento condiciona a possibilidade de governá-lo; a forma de governá-lo interfere na apropriação da riqueza; a apropriação da riqueza determina a capacidade de fortalecer o trabalho e diversificar a economia; a organização do trabalho e da riqueza repercute sobre a organização social; e a autoridade exercida pela comunidade define as condições da relação ecológica. Ao mesmo tempo, a preservação das condições ecológicas e a construção de uma base econômica capaz de permanecer depois da mineração determinam se os resultados produzidos no presente poderão sustentar a comunidade no futuro. A viabilidade comunitária depende, portanto, da manutenção dessas relações como um conjunto.

A mineração de escala comunitária, portanto, é uma atividade de pequeno porte, mas sua caracterização depende também da proximidade entre a propriedade, as decisões, as responsabilidades, os trabalhadores e a comunidade afetada por seus efeitos. Ela exige também que a riqueza produzida seja convertida em propriedade, meios de produção, conhecimento, infraestrutura e outras capacidades que permaneçam na comunidade, reduzindo sua dependência em relação à própria atividade mineral e a agentes externos. A própria tecnologia empregada permanece compatível com a capacidade de compreensão e fiscalização daqueles que possuem autoridade sobre o empreendimento.

A legitimidade da mineração, sob essa perspectiva, também adquire um significado mais amplo. Ela não pode ser reduzida à autorização concedida por instituições estatais, ao cumprimento das exigências regulatórias ou à realização de mecanismos formais de consulta. Esses elementos podem constituir condições necessárias, mas não esgotam a questão. Um empreendimento é legitimamente integrado à comunidade quando aqueles que vivem e trabalham em seu entorno possuem capacidade efetiva de participar das decisões que definem seus limites, seus riscos, a distribuição de seus resultados e as condi-

ções de seu encerramento. A legitimidade deixa, assim, de ser um ato pontual e passa a constituir uma relação permanente entre atividade econômica e autogoverno comunitário.

Essa relação também permite distinguir a mineração comunitária de uma simples distribuição posterior dos benefícios. Não basta que parte da riqueza retorne à comunidade por meio de compensações, royalties ou programas sociais. É necessário que a comunidade participe da própria estrutura que produz, administra e distribui essa riqueza. Por isso, a propriedade, o trabalho, a organização econômica e a autoridade precisam permanecer suficientemente articulados para que a mineração não funcione como uma atividade externa da qual a comunidade recebe apenas uma parcela dos resultados.

O mesmo princípio se aplica à dimensão temporal. Como o recurso mineral é finito, a atividade só pode contribuir para a viabilidade comunitária quando transforma parte da riqueza produzida durante a exploração em capacidades que continuem existindo depois do esgotamento da jazida. O objetivo da atividade econômica não pode ser apenas aumentar a quantidade de riqueza disponível no presente. É necessário perguntar o que permanece quando a extração termina. Quais conhecimentos foram formados, quais meios de produção foram construídos, quais atividades econômicas foram fortalecidas, quais instituições permaneceram ativas e em que condições a comunidade poderá continuar produzindo e vivendo no lugar.

A síntese proposta neste capítulo pode ser expressa, portanto, por uma relação entre escala, legitimidade e viabilidade. A atividade mineral precisa permanecer em uma escala que possa ser governada pela comunidade; a comunidade precisa possuir organizações locais capazes de exercer essa autoridade; a riqueza produzida precisa permanecer suficientemente territorializada para fortalecer uma economia diversificada; e a exploração precisa respeitar os limites ecológicos e temporais que condicionam a continuidade da vida comunitária. Quando essas relações se reforçam mutuamente, a mineração pode participar da reprodução das capacidades da própria comunidade.

Quando uma delas se deteriora e passa a comprometer as demais, o sistema tende a produzir dependência, perda de autonomia e fragilidade crescente.

A mineração de escala comunitária, assim, não corresponde simplesmente a uma versão menor da mineração convencional. Trata-se de outra forma de organizar a atividade extrativa, na qual a escala econômica, a organização social, a apropriação da riqueza, a autoridade e a relação ecológica são subordinadas à capacidade de a comunidade governar a atividade e permanecer viável depois dela.

O resultado esperado não é uma comunidade permanentemente dependente da mineração, ainda que sua riqueza permaneça maior durante o período de exploração. É uma comunidade que utiliza, durante o tempo em que o recurso está disponível, as possibilidades econômicas da mineração para fortalecer as relações que poderão sustentá-la quando esse recurso já não estiver disponível. A viabilidade da mineração passa, desse modo, a depender da viabilidade da comunidade que a governa; e a legitimidade da atividade encontra seu critério mais amplo na capacidade de ela contribuir para que essa comunidade permaneça capaz de trabalhar, produzir, organizar-se e decidir sobre seu próprio futuro.[789]

6.7 Da Literatura à Prática

As seções anteriores procuraram estabelecer os princípios e as relações que caracterizam a proposta de uma mineração de escala comunitária. Não cabe, portanto, retomar aqui cada um desses argumentos, nem propor um modelo fechado de organi-

[789] Os autores mobilizados neste capítulo podem ser situados em uma tradição intelectual que, desde o final do século XIX e o início do século XX, vem questionando a concentração, o gigantismo e o afastamento das decisões em relação às comunidades. De Kropotkin e Mumford a Kohr, Boulding, Belloc, Schumacher e Illich, e posteriormente a Berry, Max-Neef, Daly, Sale e De Raadt, diferentes autores dessa tradição relacionaram a escala das organizações econômicas, políticas e técnicas à autonomia, à participação, aos limites do crescimento e à capacidade das comunidades de governar as atividades que sustentam sua vida.

zação aplicável indistintamente a qualquer comunidade. O propósito desta seção é mais modesto e, ao mesmo tempo, mais concreto. O objetivo será apresentar algumas possibilidades de organização que podem ser exploradas quando uma comunidade procura exercer maior autoridade sobre uma atividade minerária presente em seu entorno.

Essa passagem exige, antes de tudo, uma pequena revisão da forma como a própria comunidade é situada diante do empreendimento. Na seção 4.1 do TCC, ao apresentar o Modelo Triplo I, incluí entre os "interesses justificados das partes interessadas" a mineradora, os projetistas, os especialistas técnicos e, ao lado deles, a "população adjunta". A formulação procurava reconhecer que diferentes grupos possuíam interesses legítimos relacionados à atividade. O desenvolvimento deste livro mostrou, porém, que reconhecer esses interesses não resolve a questão de como a autoridade deve ser distribuída.

A categoria *stakeholder* continua sendo útil para identificar as diferentes relações existentes em torno de um empreendimento. Ela se torna insuficiente, porém, quando todos os envolvidos são colocados no mesmo plano para fins de decisão.

A comunidade possui uma relação específica com a atividade porque é nela que se encontram as pessoas, as relações de trabalho, os espaços de convivência e as condições sociais e ecológicas que serão modificados pela mineração. Sua posição, portanto, não decorre apenas de possuir um interesse entre outros, mas de estar diretamente vinculada à continuidade da vida no lugar.

É nesse sentido que a titularidade comunitária, apresentada no modelo da mineração comunitária, deve ser compreendida. Ela não significa a condição de a comunidade exercer autoridade sobre as decisões que afetam de maneira direta sua própria continuidade. Essa autoridade não precisa assumir uma única forma. Pode manifestar-se por diferentes formas de organização, participação, acompanhamento, fiscalização e decisão, conforme a escala do empreendimento, as características da comunidade e as competências que estejam em questão.

A literatura discutida nas seções anteriores oferece diversos elementos que podem contribuir para essa organização. O ponto de partida, contudo, não precisa ser a criação de uma nova estrutura formal. A comunidade pode começar pelo reconhecimento das relações, capacidades e organizações que já existem, identificando aquelas que podem assumir responsabilidades relacionadas à atividade minerária. O Inventário de Capacidades discutido anteriormente oferece justamente uma referência para esse tipo de reconhecimento, ao deslocar a atenção das carências para os conhecimentos, habilidades, experiências e disposições já presentes no lugar.

A partir desse conhecimento, diferentes caminhos podem ser explorados. Uma comunidade pode organizar formas permanentes de acompanhamento da atividade, estabelecer canais próprios para registrar problemas e acompanhar sua solução, desenvolver capacidade técnica para interpretar informações fornecidas pela empresa e pelos órgãos públicos ou recorrer a profissionais independentes quando os conhecimentos necessários ultrapassarem sua capacidade interna. Pode também definir formas de representação proporcionais à escala das decisões, de modo que questões diretamente relacionadas à vida cotidiana permaneçam próximas daqueles que convivem com seus efeitos, enquanto questões de maior alcance sejam encaminhadas às unidades mais amplas da comunidade.

A organização da autoridade pode ser acompanhada por formas de organização econômica. Parte dos recursos movimentados pela atividade pode ser direcionada para fornecedores e trabalhadores locais; atividades de transporte, manutenção, recuperação ambiental, produção de mudas, serviços e outras necessidades da mineração podem ser assumidas por pessoas, cooperativas ou pequenos empreendimentos do próprio território; e parte da riqueza gerada pode ser convertida em meios de produção, formação e atividades econômicas capazes de permanecer quando a extração diminuir ou terminar. A territorialização da riqueza, nesse caso, deixa de ser apenas um princípio e passa a ser uma possibilidade de organização da economia local.

O mesmo pode ocorrer com a relação ecológica. O monitoramento da água, da poeira, das vibrações, da recuperação das áreas utilizadas e de outros efeitos da atividade pode deixar de depender exclusivamente de informações produzidas pela própria empresa ou por estruturas externas. A comunidade pode desenvolver conhecimentos, responsabilidades e formas de acompanhamento próprios, articulando, quando necessário, o conhecimento local com conhecimentos técnicos especializados. O objetivo não seria substituir os mecanismos públicos de fiscalização, mas ampliar a capacidade da própria comunidade de conhecer e acompanhar aquilo que ocorre em seu entorno.

Essas possibilidades não constituem um conjunto obrigatório de requisitos nem precisam surgir simultaneamente. Cada comunidade possui uma história, uma composição, capacidades e formas de organização próprias. O que parece adequado em uma comunidade rural pequena pode não ser adequado em um bairro urbano; uma atividade de grande porte pode exigir formas de coordenação que seriam desnecessárias em uma pequena operação; e determinadas capacidades podem já existir localmente, enquanto outras precisarão ser desenvolvidas ao longo do tempo. A organização comunitária, portanto, precisa partir das condições reais do lugar e crescer a partir delas.

É também por essa razão que a proposta apresentada neste capítulo não pretende definir antecipadamente uma única forma de mineração comunitária. O que foi desenvolvido até aqui fornece princípios para orientar a organização, mas não uma estrutura pronta para ser reproduzida. A passagem da literatura à prática exige observar uma comunidade concreta, conhecer a atividade que ocorre em seu entorno e perguntar quais relações podem ser reorganizadas de modo a ampliar sua capacidade de participar, decidir e assumir responsabilidades.

Um exercício dessa proposta está começando a ser realizado no Granja Vista Alegre, no município de Contagem/MG. No entorno do bairro, uma empresa atua na extração, no beneficiamento e na comercialização de agregados derivados de gnaisse e granito destinados ao mercado nacional. A existência dessa

atividade permite confrontar os princípios desenvolvidos neste capítulo com uma situação concreta, na qual a mineração não constitui uma hipótese distante, mas uma atividade presente na vida cotidiana da comunidade.

O objetivo, porém, não será utilizar o bairro para confirmar previamente o modelo proposto. A realidade pode revelar limites, possibilidades e contradições que não aparecem na literatura. O exercício consiste justamente em aproximar os dois campos. Será necessário observar a atividade existente, reconhecer as formas de organização já presentes na comunidade e perguntar quais caminhos poderiam aproximar a relação entre mineração e comunidade dos princípios desenvolvidos neste capítulo.

6.7.1 Práticas e Possibilidades de Organização

Cada comunidade parte de condições próprias, possui capacidades diferentes e enfrenta problemas que exigem respostas específicas. O que se pode fazer, a partir da literatura examinada e das experiências discutidas ao longo deste capítulo, é identificar algumas práticas que podem contribuir para aproximar a atividade minerária da capacidade de decisão e de ação da própria comunidade.

Um primeiro caminho consiste em conhecer aquilo que a comunidade já possui. Antes de criar novas estruturas, é possível levantar conhecimentos, habilidades profissionais, experiências de trabalho, pequenos negócios, equipamentos, espaços, relações de cooperação e formas de ajuda mútua existentes no lugar. O Inventário de Capacidades apresentado anteriormente oferece uma referência para esse trabalho. Seu valor está em descobrir possibilidades que possam ser mobilizadas pela própria comunidade. Uma comunidade que conhece suas capacidades pode identificar com maior precisão quais atividades consegue assumir, quais precisa desenvolver e quais conhecimentos precisará buscar fora dela.

A partir desse reconhecimento, podem ser organizadas formas de participação que correspondam às diferentes decisões

relacionadas à mineração. Assembleias de moradores, grupos de trabalho, representantes escolhidos por unidades de proximidade e outras formas de reunião podem assumir responsabilidades distintas, conforme a natureza dos assuntos tratados. Questões diretamente relacionadas à vida cotidiana podem permanecer próximas das pessoas que experimentam seus efeitos, enquanto questões que ultrapassam uma determinada unidade podem ser levadas a níveis mais amplos de organização. O princípio não consiste em criar uma estrutura única para todas as decisões, mas em aproximar cada responsabilidade da escala em que ela pode ser conhecida, discutida e acompanhada adequadamente.

Outra possibilidade consiste em organizar a própria capacidade comunitária de conhecer a atividade minerária. Informações sobre produção, tráfego, detonações, ruído, poeira, vibrações, água, recuperação das áreas utilizadas e outros aspectos relevantes podem ser reunidas de forma contínua, permitindo comparar aquilo que foi previsto com aquilo que efetivamente ocorre. Parte desse acompanhamento pode ser realizada pelos próprios moradores, enquanto questões que exigem conhecimentos especializados podem contar com profissionais ou organizações técnicas escolhidos pela comunidade. O objetivo não é substituir a fiscalização exercida pelos órgãos competentes, mas evitar que a comunidade dependa exclusivamente de informações produzidas e interpretadas por aqueles que controlam o empreendimento.

Essa capacidade de acompanhamento pode também ser utilizada para organizar ciclos de análise, decisão, ação e avaliação. Um problema identificado pelos moradores pode ser registrado, analisado em conjunto, encaminhado à organização ou autoridade responsável e posteriormente acompanhado para verificar se a medida adotada produziu o resultado esperado. A repetição desse processo permite que o conhecimento produzido pela experiência seja incorporado à organização comunitária, em vez de permanecer disperso em reclamações individu-

ais. Nesse sentido, a organização da informação passa a fazer parte da própria organização da ação.

No campo econômico, as possibilidades são igualmente diversas. A atividade minerária movimenta recursos que podem permanecer concentrados na empresa ou ser parcialmente direcionados para trabalhadores, fornecedores e empreendimentos do próprio território. Compras e contratações locais, quando houver capacidade para realizá-las, podem fortalecer pequenos negócios e criar demanda para novos serviços. Atividades de transporte, manutenção, beneficiamento, alimentação, recuperação ambiental e outras necessidades associadas à mineração podem, em determinadas circunstâncias, ser assumidas por trabalhadores organizados coletivamente, cooperativas ou pequenos empreendimentos locais. O objetivo não seria apenas aumentar o número de fornecedores do território, mas ampliar sua capacidade produtiva para que parte dos fluxos econômicos gerados pela mineração permaneça circulando na comunidade.

Essa territorialização, contudo, não deve produzir uma nova forma de dependência. Os empreendimentos e atividades econômicas fortalecidos pela mineração precisam, tanto quanto possível, desenvolver capacidade para existir também fora do circuito mineral. Uma cooperativa de transporte, uma oficina de manutenção, uma atividade de beneficiamento, um empreendimento agrícola ou um serviço técnico podem inicialmente encontrar na mineração uma fonte importante de demanda, mas sua organização deve procurar ampliar gradualmente sua capacidade de atender outras necessidades e outros mercados. A riqueza mineral pode, assim, funcionar como meio de formação de uma economia mais diversificada, e não como fundamento de uma dependência ainda maior em relação à duração da jazida.

A mesma lógica pode orientar o uso da riqueza produzida durante o período de exploração. Parte dos recursos poderia ser destinada à formação de um fundo comunitário ou a outras formas de reserva e investimento definidas pela própria comuni-

dade. Esses recursos poderiam apoiar formação profissional, equipamentos, agricultura, pequenos empreendimentos, recuperação ambiental, infraestrutura comunitária ou outras atividades capazes de permanecer úteis depois da redução ou do encerramento da mineração. A finalidade não seria simplesmente distribuir dinheiro entre moradores, mas transformar parte da riqueza mineral em capacidades que continuem produzindo valor no território.

Nesse sentido, o destino da riqueza produzida durante a exploração deve ser pensado também em função do momento em que ela deixará de ser produzida. Parte dos recursos pode ser consumida no presente, mas outra parte precisa contribuir para construir atividades, conhecimentos, meios de produção e organizações capazes de atravessar o encerramento da mineração. Quanto maior for a capacidade da comunidade de converter a riqueza mineral em formas de trabalho e produção independentes da jazida, menor será sua dependência em relação à permanência da atividade extrativa. O pós-mineração, portanto, não constitui uma etapa posterior à organização econômica da comunidade; ele precisa estar presente nas decisões tomadas durante o próprio período de exploração.

A organização econômica também pode alcançar a própria propriedade. Em determinadas situações, trabalhadores e organizações locais podem participar da propriedade de empreendimentos vinculados à cadeia mineral ou de atividades que dela dependem. Cooperativas de trabalhadores, estruturas compartilhadas de beneficiamento e outras formas associativas podem permitir que pessoas que hoje participam apenas da execução do trabalho também participem da gestão e dos resultados econômicos.

O cuidado ecológico pode igualmente ser aproximado da organização comunitária. O monitoramento da água, a produção de mudas, a recuperação das áreas utilizadas pela atividade, o acompanhamento da vegetação e outras ações de restauração podem gerar conhecimentos e responsabilidades que permaneçam no lugar. Em alguns contextos, essas atividades po-

dem também produzir trabalho e renda, articulando a recuperação ambiental à formação de capacidades locais. A mineração deixa, assim, de ser considerada apenas uma atividade que produz impactos a serem posteriormente compensados e passa a ser acompanhada por práticas permanentes de cuidado com as condições ecológicas das quais a própria comunidade depende.

Essas práticas podem ser combinadas de maneiras diferentes. Uma comunidade pode começar pelo levantamento de suas capacidades e pela organização de um grupo de acompanhamento; posteriormente, pode desenvolver formas próprias de monitoramento, ampliar sua participação nas decisões, organizar fornecedores locais ou criar atividades econômicas associadas à mineração. Em outro lugar, o ponto de partida pode ser uma cooperativa já existente, uma associação de moradores, uma organização de trabalhadores ou uma iniciativa de recuperação ambiental. Não existe, portanto, uma sequência obrigatória. O próprio processo de organização pode revelar quais caminhos são possíveis e quais responsabilidades a comunidade está preparada para assumir.

O elemento comum entre essas possibilidades é a tentativa de aproximar novamente pessoas, conhecimento, trabalho, riqueza e decisão. A comunidade não precisa assumir diretamente todas as funções do empreendimento para exercer autoridade sobre aquilo que afeta sua vida. Pode começar por conhecer melhor a atividade, reunir capacidades dispersas, acompanhar seus efeitos e organizar formas de ação coletiva. À medida que essas capacidades se fortalecem, novas responsabilidades podem ser assumidas. A organização comunitária passa, desse modo, a crescer a partir da experiência e das relações existentes, em vez de depender de um modelo elaborado previamente fora da comunidade.

A questão central, portanto, não é definir de antemão quais estruturas uma mineração comunitária deve possuir. É criar condições para que a própria comunidade possa reconhecer suas capacidades, formular suas necessidades, assumir responsabilidades e ampliar progressivamente sua capacidade de deci-

dir sobre a atividade minerária. O exercício seguinte procura observar como esse processo pode ocorrer em uma situação concreta, tomando como referência Granja Vista Alegre.

6.7.2 Um Exercício de Aplicação: Granja Vista Alegre

Em Granja Vista Alegre, uma forma de organização comunitária com função semelhante já vem sendo construída a partir de problemas concretos. A mobilização dos moradores teve como catalisadores dois processos que afetavam diretamente a vida do bairro: o projeto de um rodoanel metropolitano, com potencial de provocar desapropriações e fragmentação da área ocupada pela comunidade, e a atividade de uma mineradora que opera nas proximidades, associada a conflitos relacionados ao tráfego de caminhões, à poeira, às vibrações provocadas pelas detonações e ao processo de regularização ambiental da atividade. Foi diante dessas situações que os moradores passaram a se organizar de maneira mais deliberada e a reconhecer capacidades coletivas que já estavam presentes no bairro.

Dessa mobilização surgiram formas concretas de organização. O Conselho Comunitário de Análise e Interpretação de Dados passou a reunir e interpretar informações produzidas pela própria comunidade, procurando transformar dados dispersos em conhecimento útil para a tomada de decisões. As Assembleias Comunitárias, por sua vez, constituíram espaços de encontro e deliberação nos quais as preocupações dos moradores podem ser reunidas e transformadas em reivindicações dirigidas ao poder público. Não se trata, portanto, de estruturas concebidas previamente a partir de um modelo externo de organização. Elas surgiram no curso da própria experiência comunitária, em resposta a problemas que exigiam conhecimento compartilhado, coordenação e ação coletiva.

Esse processo ajuda a compreender uma questão importante para a proposta deste capítulo. A organização comunitária não precisa começar pela definição de uma estrutura ideal de governo para a comunidade. Ela pode começar quando pessoas

que compartilham um lugar reconhecem um problema que individualmente não conseguem resolver e passam a construir formas de ação conjunta. A organização surge da necessidade de agir e pode, posteriormente, adquirir maior permanência, ampliar suas responsabilidades e articular diferentes capacidades existentes no próprio lugar.

Não é coincidência que esse processo tenha começado diante de problemas concretos, e não de um planejamento técnico abstrato. C. West Churchman formulou essa questão de maneira particularmente incisiva ao discutir o ponto de partida do pensamento sistêmico:

> Seria algo muito positivo se a motivação do planejador sistêmico fosse a indignação moral, e não apenas uma leve necessidade sentida [...] Não deveríamos começar perguntando por uma definição precisa e operacional de desnutrição. Deveríamos começar dizendo: "Há muitas crianças morrendo de fome, caramba!"[790]

A observação de Churchman é relevante porque recoloca o diagnóstico em seu devido lugar. O conhecimento sistêmico não substitui a experiência concreta da comunidade nem constitui, por si só, a razão para sua organização. Ele pode ajudar a compreender melhor aquilo que já mobiliza as pessoas, relacionar problemas que inicialmente aparecem isolados, identificar suas causas e efeitos e orientar ações que possam ser acompanhadas e avaliadas ao longo do tempo.

É nesse sentido que a experiência do Granja Vista Alegre se aproxima da proposta apresentada neste capítulo. O Conselho e as Assembleias não representam uma forma acabada de organização comunitária da mineração, nem foram criados especificamente para cumprir esse papel. Sua existência mostra, porém, que a comunidade já dispõe de formas próprias de reunir pessoas, interpretar informações e formular posições coletivas diante de decisões que afetam sua vida. O desafio passa a ser explorar até onde essas capacidades podem avançar.

---

[790] Churchman, 1982, p. 17.

A partir dessa experiência, outras possibilidades podem ser consideradas, que incluem ampliar o acompanhamento comunitário dos efeitos da atividade minerária; organizar formas independentes de monitoramento de poeira, ruído, vibrações e condições ambientais; desenvolver capacidade própria para interpretar estudos e documentos técnicos; estabelecer procedimentos pelos quais alterações relevantes na operação sejam discutidas com a comunidade; aproximar trabalhadores, moradores e pequenos empreendimentos locais das oportunidades econômicas geradas pela atividade; e criar mecanismos pelos quais parte da riqueza produzida possa fortalecer capacidades econômicas que permaneçam no bairro.

Essas possibilidades não precisam ser adotadas de uma só vez e não constituem uma lista fechada. Seu ponto de partida deve ser aquilo que a própria comunidade já possui em termos de conhecimento, relações, capacidades produtivas e formas de cooperação. O que importa é que cada nova forma de organização amplie a capacidade de conhecer, decidir e agir sobre os processos que afetam a vida comunitária.

O caso do Granja Vista Alegre permite levar essa discussão para a experiência concreta de uma comunidade. Os princípios da mineração comunitária ajudam a identificar relações entre autoridade, trabalho, riqueza, organização social e relação ecológica; a experiência local permite verificar como essas relações se apresentam na prática, quais já estão presentes, quais permanecem frágeis e quais podem ser fortalecidas. Nesse sentido, o Granja Vista Alegre não é apenas um caso a ser analisado, mas um espaço em que essas possibilidades começam a ser experimentadas.

6.8 Considerações Finais da Reedição

Ao longo deste livro, a mineração foi examinada para além dos limites técnicos do empreendimento. Os casos de Mariana e Brumadinho mostraram que as consequências de uma atividade minerária não se restringem à estabilidade de uma estrutura, à eficiência de uma operação ou ao cumprimento de exi-

gências legais. Elas alcançam o trabalho, a circulação da riqueza, a organização da vida comunitária, as relações ecológicas e a própria capacidade das comunidades de participar das decisões que afetam seu futuro. A discussão sobre uma mineração em escala comunitária procurou, deste modo, deslocar essa análise para outras formas possíveis de organizar essas relações, aproximando a atividade mineral da escala e das necessidades das comunidades locais.

Essa ampliação do olhar sobre a mineração também modifica a compreensão do próprio trabalho de engenharia. Quando uma intervenção técnica está ligada à organização do trabalho, à distribuição da riqueza, às formas de autoridade, à vida comunitária e às relações ecológicas, sua elaboração não pode ser separada das condições sociais em que será realizada e de seus efeitos sobre a comunidade. O engenheiro participa, portanto, de decisões que ultrapassam o domínio dos procedimentos técnicos de sua especialidade. Sua formação precisa oferecer condições para compreender essas relações, reconhecer os diferentes interesses envolvidos e avaliar as consequências das alternativas disponíveis. A responsabilidade profissional começa no domínio técnico, mas não se encerra nele. O problema é que, nos grandes empreendimentos, aquilo que chega ao engenheiro como um problema técnico costuma ser o resultado de decisões econômicas, institucionais e políticas tomadas anteriormente. A forma da tarefa já contém escolhas sobre finalidade, escala, localização, recursos e prioridades.

Nesse sentido, a formação profissional não pode se limitar a ensinar o engenheiro a responder bem às perguntas que lhe são apresentadas. Ela precisa também prepará-lo para reconhecer quando a própria pergunta merece ser examinada, questionada e, até mesmo, rejeitada. Essa formação precisa considerar, portanto, as pessoas e os lugares aos quais o trabalho profissional se destina. Se o trabalho do engenheiro será realizado em lugares concretos, entre pessoas que possuem uma história, recursos, necessidades e formas próprias de organização, sua formação também precisa estabelecer uma relação com esses luga-

res. Não se trata apenas de acrescentar conhecimentos sobre comunidades a um currículo técnico. Trata-se de formar profissionais capazes de conhecer o lugar onde vivem e trabalham, reconhecer seus problemas, compreender seus recursos e participar de sua transformação sem tratar a comunidade apenas como objeto de intervenção.

A partir dessa compreensão, a formação do engenheiro deve ser também uma formação comunitária. O profissional não deve ser formado para atender prioritariamente às demandas do mercado de trabalho ou de uma organização que posteriormente definirá os problemas que deverá resolver. Sua formação deve partir da comunidade da qual faz parte, aprendendo a reconhecer as necessidades locais, as capacidades existentes, os conhecimentos acumulados e as possibilidades de trabalho e desenvolvimento que podem ser construídas no próprio lugar. Isso modifica a própria ideia de atuação profissional. O engenheiro deixa de ser apenas aquele que chega a uma comunidade para executar um empreendimento definido em outra escala e pode tornar-se também alguém capaz de colocar seu conhecimento a serviço das questões que a sua própria comunidade reconhece como importantes.

A formação comunitária altera a direção do conhecimento. O engenheiro não chega ao lugar como o portador de um conhecimento que falta aos moradores. A comunidade possui conhecimentos sobre seus recursos, seus problemas, suas formas de trabalho e suas possibilidades que não estão necessariamente presentes nos modelos técnicos. Conhecer o lugar significa também aprender a reconhecer esse conhecimento e incorporá-lo ao processo de decisão.

Essa preocupação aparece de maneira particularmente clara na crítica de Langdon Winner à educação das profissões técnicas. Para Winner, a formação moderna tende a tomar como dados as instituições, os compromissos profissionais e as relações de poder dentro das quais o trabalho será exercido.[791] O estudante aprende a trabalhar para uma determinada organização, a

[791] Winner, 1990.

resolver os problemas que lhe são apresentados e a seguir seus critérios, sem necessariamente examinar as razões pelas quais esses problemas foram definidos dessa maneira, os interesses envolvidos nas decisões ou as possibilidades de organizar a situação de outra forma. A formação do engenheiro exige, portanto, uma compreensão das condições econômicas, sociais e políticas que dão sentido ao seu trabalho.

Essa perspectiva retoma a discussão do Capítulo 2 sobre a superespecialização e a dificuldade de formar engenheiros capazes de relacionar o conhecimento técnico ao contexto em que ele é aplicado. A questão envolve compreender quem define os objetivos de um empreendimento, quem participa de suas decisões, quem arca com seus custos e quem se beneficia de seus resultados.

Loren Graham encontra uma figura histórica que torna essa questão particularmente concreta. Em seu livro *The Ghost of the Executed Engineer* ele apresenta o caso de Peter Palchinsky, engenheiro de minas e consultor industrial envolvido em projetos de grande escala na antiga União Soviética.[792] A leitura desse livro teve um papel importante na minha própria formação e contribuiu para muitos dos questionamentos que, ao longo dos anos, foram ganhando forma neste trabalho. Palchinsky defendia que os problemas de engenharia deveriam ser examinados dentro de seus contextos políticos, sociais e econômicos. Ao estudar portos, por exemplo, compreendia que a eficiência de guindastes, canais, trilhos e armazéns dependia também das condições de moradia, transporte, educação, saúde e trabalho das pessoas que faziam o sistema funcionar. O empreendimento, nesse sentido, não terminava na infraestrutura física.

Sua posição diante dos grandes projetos era ainda mais significativa. Diante da proposta de uma grande usina hidrelétrica, Palchinsky entendia que o engenheiro deveria perguntar se a barragem era realmente a melhor forma de atender à necessidade de energia, quais alternativas poderiam ser consideradas e

[792] Graham, 1993.

quais seriam os custos econômicos, sociais e ambientais de cada uma. No caso de Dnieprostroi, engenheiros haviam chamado atenção para alternativas de geração, para a necessidade de estudos hidrológicos e geológicos mais completos, para os custos de transmissão e para a área que seria inundada. Essas advertências não foram suficientes para impedir a construção da grande barragem.

Há, nesse episódio, uma diferença importante entre duas concepções de atuação profissional. Na primeira, o engenheiro recebe a decisão e procura realizá-la da melhor maneira possível. Na segunda, ele participa também da reflexão que antecede a solução técnica. Ele examina alternativas, questiona pressupostos, apresenta consequências que poderiam permanecer invisíveis e chama atenção para aquilo que o cálculo, isoladamente, não consegue decidir.

Essa segunda concepção não significa atribuir aos engenheiros uma autoridade que eles não possuem. Graham mostra também os limites da própria visão de Palchinsky. Sua defesa de uma posição mais ativa para a profissão poderia facilmente conduzir à ideia de que os engenheiros deveriam assumir uma posição privilegiada na condução da sociedade. A crítica à passividade profissional não autoriza uma nova forma de tecnocracia. A responsabilidade do engenheiro é participar da deliberação com aquilo que sua formação lhe permite conhecer, sem transformar esse conhecimento em justificativa para decidir sozinho sobre questões que pertencem também às comunidades, às instituições políticas e a outras áreas profissionais.

É justamente nesse equilíbrio que a formação ganha importância. O engenheiro precisa dominar seu campo técnico, mas também precisa compreender os contextos em que esse conhecimento será aplicado. Precisa saber identificar alternativas, avaliar incertezas, reconhecer interesses em conflito e compreender as consequências que ultrapassam o objeto imediato do projeto. Precisa, ainda, conservar a liberdade profissional necessária para dizer que uma solução é tecnicamente possível sem, por isso, concluir que ela seja necessariamente desejável.

O caso de Palchinsky mostra também que essa capacidade de julgamento depende de uma disposição para conhecer as condições concretas do lugar. Ele insistia que o planejamento não deveria ignorar as diferenças entre regiões e que decisões semelhantes poderiam exigir soluções diferentes conforme os recursos naturais, a população, o transporte, os trabalhadores disponíveis e outras condições locais.

Para a formação do engenheiro, essa questão pode ser levada ainda mais longe. Conhecer o lugar não deveria ser apenas uma exigência feita ao profissional quando ele recebe um projeto. Deveria fazer parte da sua própria formação. Ao longo de seus anos de estudo, o estudante de engenharia pode aprender a observar a comunidade em que vive, acompanhar seus problemas, conhecer suas atividades econômicas, seus recursos, suas formas de organização e seus conhecimentos práticos. Pode aprender que uma comunidade não é simplesmente o espaço físico onde uma obra será implantada, mas um conjunto de relações que também possui capacidade de produzir conhecimento, trabalho, organização e soluções.

Uma formação assim aproxima a engenharia da vida cotidiana. Em vez de preparar o profissional exclusivamente para responder às demandas de grandes organizações, permite que ele reconheça problemas que não chegam formalizados como projetos de engenharia. Falta de água, dificuldades de transporte, desperdício de materiais, problemas de saneamento, perda de atividades produtivas, deterioração de espaços comuns e tantas outras situações podem ser percebidas antes de se transformarem em grandes empreendimentos. O conhecimento técnico passa, então, a participar de uma investigação que começa no próprio lugar.

Não se propõe uma formação que diminua a exigência matemática, científica ou tecnológica própria da engenharia, mas uma formação capaz de recolocar essas competências dentro de uma compreensão mais abrangente do trabalho profissional. História, economia, política, direito, sociologia, filosofia e outros campos do conhecimento não precisam substituir a forma-

ção técnica para cumprir essa função. Precisam contribuir para que o engenheiro compreenda melhor aquilo que sua própria técnica torna possível.

É difícil não reconhecer aqui uma questão que atravessou este capítulo. Ao reconstruir os casos da mineração, ficou evidente que as condições de uma comunidade não podem ser tratadas como elementos externos ao empreendimento. Autoridade, trabalho, apropriação da riqueza, organização social e relação ecológica participam da própria configuração da atividade. A proposta de mineração comunitária procurou explorar uma reorganização dessas relações; a seção 6.7, por sua vez, aproximou essa reflexão das formas concretas pelas quais uma comunidade pode ampliar sua capacidade de participar das decisões que a afetam.

Se a comunidade aparece apenas no final de um projeto, como aquela que deverá receber seus benefícios ou suportar suas consequências, parte importante do problema já foi definida antes que ela pudesse participar. Uma engenharia orientada para a comunidade procura inverter essa sequência. O que realmente importa é conhecer o lugar, compreender seus problemas e capacidades, reconhecer suas prioridades e somente então perguntar que contribuição técnica pode ser oferecida.

Por isso, a mineração não deve ser o limite desta investigação. Barragens hidrelétricas, rodovias, ferrovias, portos, grandes sistemas de energia e saneamento, empreendimentos industriais, *data centers* e outras obras de grande escala podem produzir transformações semelhantes em sua estrutura, ainda que os efeitos concretos sejam diferentes em cada caso. A característica comum não está na tecnologia empregada, mas no fato de que uma intervenção técnica de grande porte pode reorganizar, por longos períodos, as condições econômicas, sociais e ecológicas de uma comunidade.

Uma obra dessa natureza não produz apenas uma infraestrutura. Ela altera fluxos de trabalho, oportunidades econômicas, formas de acesso, relações de dependência, usos dos recursos naturais e, em alguns casos, as próprias possibilidades de per-

manência das pessoas no lugar. Por isso, a pergunta que este livro formulou a partir da mineração pode ser deslocada para outros contextos: como uma grande intervenção de engenharia deve se relacionar com a comunidade que viverá com suas consequências?

É nesse ponto que adquire particular significado o trabalho de Elisa de Bastiani Menon, incluído no Anexo I desta edição. Seu estudo desloca a aplicação do Pensamento Sistêmico Multimodal para uma comunidade ribeirinha do Rio Paraná situada abaixo da Usina Hidrelétrica Porto Primavera. O trabalho investiga as mudanças associadas à barragem e procura identificar as relações entre fatores como trabalho, dependência econômica, organização social, educação, burocracia, saúde e meio ambiente – fatores muito semelhantes ao que também identificamos na atual investigação.

A inclusão desse trabalho não representa, portanto, apenas a apresentação de uma pesquisa posterior ou de uma aplicação adicional do método. Ela mostra que as perguntas desenvolvidas neste capítulo podem atravessar os limites do setor mineral. O mesmo olhar que procurou compreender a relação entre mineração e comunidade pode ser utilizado diante de uma hidrelétrica, e essa passagem é importante justamente porque impede que a reflexão seja confundida com uma discussão exclusivamente sobre rejeitos.

A experiência de Porto Primavera mostra também por que essa ampliação é necessária. Para a hidrelétrica, alterações na dinâmica do rio podem aparecer como uma questão ambiental entre muitas outras. Para uma comunidade cuja subsistência depende da pesca, a mesma alteração pode significar a perda de um trabalho, a necessidade de buscar outra fonte de renda e mudanças na própria organização da vida local. No estudo de Elisa, essa cadeia de relações aparece de maneira concreta, permitindo observar como fatores distintos se articulam na experiência dos moradores.

Essa é talvez a principal consequência intelectual desta reedição. A crítica que, em 2019, estava concentrada nas metodo-

logias de gestão de rejeitos foi levada a uma escala mais ampla. Hoje, parece-me insuficiente perguntar apenas qual tecnologia deve ser utilizada. É necessário examinar também a configuração do empreendimento que torna essa escolha necessária, a estrutura de autoridade que define suas condições, a forma de apropriação dos resultados, o trabalho que o sustenta, as relações sociais que ele produz e as condições ecológicas que permanecerão depois de sua implantação.

A mesma ampliação vale para a responsabilidade do engenheiro. A profissão não pode ser reduzida ao domínio de técnicas aplicadas a problemas definidos por outros. Ao engenheiro cabe também a tarefa de perguntar se o problema foi corretamente formulado, quais alternativas permaneceram fora da análise e quais consequências estão sendo transferidas para pessoas ou lugares que possuem pouca capacidade de interferir na decisão. Saber executar uma solução contínua sendo indispensável. Saber questionar a solução proposta também faz parte da responsabilidade profissional.

Há, nesse sentido, uma diferença entre participar tecnicamente de um empreendimento e assumir responsabilidade por aquilo que ele representa. O primeiro pode ser feito dentro de uma tarefa delimitada. O segundo exige compreender que decisões técnicas estão inseridas em relações mais amplas e que, mesmo quando a autoridade formal pertence a outra instituição, o engenheiro contínua sendo um participante da transformação produzida.

O caminho percorrido desde 2019 não conduz, portanto, a um modelo fechado de empreendimento ou a uma metodologia única de decisão. O que ele permite sustentar é que a qualidade de uma obra não pode ser separada das relações que ela estabelece com as pessoas, as instituições, a economia e o ambiente. Uma engenharia capaz de reconhecer essas relações não abandona sua competência técnica. Torna-se mais consciente de sua própria responsabilidade.

É nesse sentido que uma antiga pergunta pode acompanhar o engenheiro ao longo de sua vida profissional: as coisas deveriam ser assim? E como poderiam ser de outra maneira?

É a partir dessas perguntas, mais do que de qualquer resposta definitiva, que esta investigação pode continuar.

Referências Bibliográficas

ACKOFF, R. L. (1981) Creating the corporate future: Plan or be planned for. New York: Wiley, 312 p.

AGÊNCIA BRASIL (2017) 'Prefeito de Mariana quer retomar mineração na cidade', Exame, São Paulo, 14 de setembro. Disponível em: https://exame.com/brasil/prefeito-de-mariana-quer-retomar-mineracao-na-cidade/. Exame. Acesso em: 28 de setembro de 2026.

AGÊNCIA BRASIL (2024) 'Minas revê regras da caução ambiental de barragens criadas há 6 meses', Agência Brasil, Brasília, 6 de junho. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/justica/noticia/2024-06/minas-rev%C3%AA-regras-da-caucao-ambiental-de-barragens-criadas-ha-6-meses. Acesso em: 28 de setembro de 2026.

AGÊNCIA ESTADO (2016) 'Prefeitura de Mariana convoca funcionários para passeata em favor da Samarco', UOL Notícias, São Paulo, 11 de março. Disponível em: https://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/agencia-estado/2016/03/11/prefeitura-de-mariana-convoca-funcionarios-para-passeata-em-favor-da-samarco.htm. Acesso em: 28 de setembro de 2026.

ALBEMARLE (s.d.) Comunidades en Chile. [S. l.]: Albemarle. Disponível em: https://www.albemarle.com/cl/es/sustainability/chile-operations/social/communities-chile. Acesso em: 28 de setembro de 2026.

ALMG — ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS (2016) 'Estado definirá cronograma de retomada das ações da Samarco', Belo Horizonte, 1 de junho. Disponível em: https://www.almg.gov.br/acompanhe/noticias/arquivos/2016/06/01_minas_energia_meio_ambiente_samarco.html. Acesso em: 28 de setembro de 2026.

AMARAL, L. A. et al. (2016) 'Teoria dos stakeholders: revisão de literatura sobre artigos publicados por Freeman, R. Edward, no período de 2008 a 2015'. In: Congresso Internacional de Administração da ESPM, 11., Porto Alegre: ESPM, p. i.

ANDRADE, L. C. R. (2014) Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil. 112 f. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

ARANTES, E. P. e DE SOUZA, M. L. (2021) 'Problemas ambientais nas margens do trecho inferior do Reservatório UHE Rosana SP/PR: percepção dos moradores lindeiros', Revista Geografar, 16(1), pp. 71–91.

ARAÚJO, C. B. (2006) Contribuição ao estudo do comportamento de barragens de rejeito de mineração de ferro. 143 f. Tese de Doutorado (Mestre em Ciências em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

ARNSTEIN, S. (1969) 'A ladder of citizen participation', AIP Journal, 35, pp. 216–244.

ASHBY, W. R. (1970) Uma introdução à cibernética. São Paulo: Perspectiva, 345 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1998) NBR NM 67: Concreto — determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. São Paulo, 8 p.

ÁVILA, J. P. (2012) Barragens de rejeitos no Brasil. 1. ed. Rio de Janeiro: CBDB — Comitê Brasileiro de Barragens, 306 p.

BASDEN, A. (2015) 'Comparison between Heidegger's and Dooyeweerd's thought', The Dooyeweerd Pages, Manchester, setembro. Disponível em: http://dooy.info/ext/heidegger.html. Acesso em: 21 de julho de 2018.

BASDEN, A. e LOMBARDI, P. (1997) 'Environmental sustainability and information systems: the similarities', Systems Practice, 10(4), pp. 473–489.

BEBBINGTON, A. (2012) Social conflict, economic development and extractive industry: evidence from South America. London: Routledge.

BEER, S. (1979) Cibernética na administração. São Paulo: Ibrasa.

BELLOC, H. (2002) An essay on the restoration of property. Norfolk, VA: IHS Press, 112 p.
BERRY, W. (1987) Home economics: fourteen essays. Berkeley: North Point Press.
BERRY, W. (1990) 'The work of local culture'. In: BERRY, W. What are people for? Essays. San Francisco: North Point Press, pp. 153–169.
BERRY, W. (2015a) The unsettling of America: culture & agriculture. Berkeley: Counterpoint Press.
BERRY, W. (2015b) Our only world: ten essays. Berkeley: Counterpoint.
BERTALANFFY, L. (2014) Teoria geral dos sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicações. Petrópolis: Vozes.
BIAZON, T. O. (2018) 'A dualidade da mineração', Jornal da Unicamp, Campinas, 18 de maio. Disponível em: https://www2.unicamp.br/estatico-2023/ju/noticias/2018/05/18/dualidade-da-mineracao/. Acesso em: 28 de setembro de 2026.
BÍBLIA (2016) Bíblia Sagrada. Nova Versão Transformadora. São Paulo: Editora Mundo Cristão, 1072 p.
BOLAND, M. A. (2005) 'Mining'. In: MITCHAM, C. (org.) Encyclopedia of Science, Technology and Ethics. Vol. 3. Michigan: Thomson Gale, 564 p.
BOMAN, T. (1970) Hebrew thought compared with Greek. New York: W. W. Norton & Company.
BORGES, L. A. G. (2016) 'Clio encontra Prometeu e Hefesto: classificando estudos de ciência, tecnologia e sociedade e a perspectiva cristã', Revista Coletânea, XV(30), pp. 311–324. Disponível em: http://www.revistacoletanea.com.br/index.php/coletanea/article/download/92/65. Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.
BOULDING, K. E. (1966) 'The economics of the coming spaceship Earth'. In: JARRETT, H. (org.) Environmental quality in a growing economy. Baltimore: Resources for the Future/Johns Hopkins University Press, pp. 3–14.
BRAIN, K. A. (2017) 'The impacts of mining on livelihoods in the Andes: a critical overview', The Extractive Industries

and Society, 4(2), pp. 410–418. DOI: 10.1016/j.exis.2017.03.001.

BRASIL (1988) Constituição (1988): Constituição da República Federativa do Brasil. Brasília, DF: Senado Federal, 496 p. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em: 9 de janeiro de 2019.

BRASIL (1989) Decreto n. 97.632, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2°, inciso VIII, da Lei n° 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d97632.htm. Acesso em: 10 de maio de 2019.

BRASIL (2010) Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais. Brasília. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12334.htm. Acesso em: 10 de maio de 2019.

BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral (2018) Sumário mineral brasileiro 2018: ferro. Brasília, DF: DNPM.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (2013) Novo marco da mineração. Brasília, DF: MME.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego (2019) Análise de acidente de trabalho: rompimento da Barragem B1 da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho/MG. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em: https://www.-gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/assuntos/inspecao-do-trabalho/seguranca-e-saude-no-trabalho/acidentes-de-trabalho-informacoes-1/relatorio_analise_acidentes_brumadinho.pdf. Acesso em: 1 de outubro de 2026.

BRIDGE, G. (2004a) ‘Contested terrain: mining and the environment’, Annual Review of Environment and Resources, 29, pp. 205–259.

BRIDGE, G. (2004b) ‘Mapping the bonanza: geographies of mining investment in an era of neoliberal reform’, The Professional Geographer, 56(3), pp. 406–421. DOI: 10.1111/j.0033-0124.2004.05603009.x.

BRIZ, J. (2019) ‘Mineradora implanta filtragem de rejeitos com bons resultados’, Minérios & Minerales, São Paulo, fevereiro. Disponível em: http://revistaminerios.com.br/mineradora-filtragem-de-rejeitos/. Acesso em: 13 de abril de 2019.

BRUNI, L. (2005) Comunhão e as novas palavras em economia. Vargem Grande Paulista: Editora Cidade Nova.

BUNKER, S. G. (1985) Underdeveloping the Amazon: extraction, unequal exchange, and the failure of the modern state. Urbana: University of Illinois Press.

CALDWELL, J. A. e ZYL, D. V. (2011) ‘Thirty years of tailings history from tailings & mine waste’. In: Proceedings Tailings and Mine Waste, Vancouver: University of British Columbia Library, 13 p.

CAMERON, W. B. (1963) Informal sociology: a casual introduction to sociological thinking. New York: Random House, 170 p.

CANESSO, R., PINESE, J. P. P., ALEDO TUR, A. e ANDREU, H. G. (2009) ‘Geração de energia e meio ambiente: estudo dos impactos socioambientais de usinas hidrelétricas no alto curso do Rio Paraná, Brasil’, 12º Encontro de Geógrafos da América Latina, Montevidéu, pp. 1–12.

CARDOZO, F. A. C., PIMENTA, M. M. e ZINGANO, A. C. (2016) ‘Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração — uma revisão’, Holos, 32(8), pp. 77–85. Disponível em: http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/5367/pdf. Acesso em: 3 de maio de 2019.

CARVALHO, G. V. R. de (2006) ‘A relevância do teísmo cristão para a ciência no pensamento de Roy A. Clouser’. In: XI Congresso Latino-americano sobre religião e etnicidade. São Bernardo do Campo: Universidade Metodista de São Paulo, 11 p.

CASIELLO, F. et al. (2010) La problemática contemporánea del agro argentino: una perspectiva multimodal. Rosario, Argentina: Pontificia Universidad Católica Argentina.
CASS, O. (2018) The once and future worker: a vision for the renewal of work in America. New York: Encounter Books.
CASTRO, F. L. de (2010) História do direito: geral e Brasil. 8. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris.
CAVALCANTE, A. (coord.) (2023) Subprojeto nº 03: caracterização e avaliação da população atingida pelo rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão em Brumadinho, Minas Gerais: relatório final. Belo Horizonte: FACE/UFMG.
CHAMBERS, D. M. e HIGMAN, B. (2011) Long term risks of tailings dam failure. Seldovia: Center for Science in Public Participation, 34 p. Disponível em: https://ofmpub.epa.gov/eims/eimscomm.getfile?p_download_id=513583. Acesso em: 7 de maio de 2019.
CHAROTTA, T. C. A. (2016) A gestão dos stakeholders na implementação de inovação em serviços no varejo farmacêutico brasileiro. Dissertação (Mestrado em Gestão Internacional) – Escola Superior de Propaganda e Marketing, São Paulo.
CHURCHMAN, C. W. (1968) The systems approach. New York: Delacorte Press.
CHURCHMAN, C. W. (1979) The systems approach and its enemies. New York: Basic Books.
CHURCHMAN, C. W. (1982) Thought and wisdom. Seaside: Intersystems Publications.
CLOUSER, R. (2005) The myth of religious neutrality: an essay on the hidden role of religious belief in theories. Ed. rev. Indiana: University of Notre Dame Press, 416 p.
CLOUSER, R. (2018) 'Passo a passo para uma teoria não reducionista da realidade', Diálogo & Antítese, Belo Horizonte, novembro. Disponível em: http://www.cristaosnaciencia.org.br/content/uploads/Passo-a-passo-para-uma-Teoria-

N%C3%A3o-Reducionista-da-Realidade-Roy-Clouser.pdf. Acesso em: 15 de janeiro de 2019.

CODELCO — CORPORACIÓN NACIONAL DEL COBRE, CHILE (2025) 'Codelco y SQM forman NovaAndino Litio, la sociedad conjunta para el desarrollo de litio en el Salar de Atacama', Santiago, 27 de dezembro. Disponível em: https://www.codelco.com/prensa/2025/codelco-y-sqm-forman-novaandino-litio-la-sociedad-conjunta-para-el. Acesso em: 28 de setembro de 2026.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (1997) Resolução n. 237, de 19 de dezembro de 1997. Disponível em: http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res97/res23797.html. Acesso em: 9 de abril de 2019.

COSTA, M. C. C., DEPIERI, E. L. e NAGAY, L. R. (2018) 'Historicizando Presidente Epitácio: concepções de educação, sociedade, cultura, avanços e retrocessos após a construção da usina hidrelétrica', Revista Hipótese, 4(4), pp. 399–411.

CUNHA, F. M. (2004) 'Por uma filosofia da tecnologia no ensino de engenharia'. In: Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, Brasília, 12 p. Disponível em: http://www.abenge.org.br/cobenge/arquivos/15/artigos/08_061.pdf. Acesso em: 23 de março de 2019.

CUPANI, A. (2016) Filosofia da tecnologia: um convite. Florianópolis: Editora da UFSC, 233 p.

DA SILVA, S. S., FREITAS, A. F. de, FREITAS, R. e RAMALHO, T. (2022) 'Princípios do cooperativismo e a cultura do garimpo: uma análise nas cooperativas minerais de Minas Gerais', Interações, 23(1), pp. 215–230. DOI: 10.20435/inter.v23i2.3138.

DALY, H. E. e COBB, J. B. Jr. (1989) For the common good: redirecting the economy toward community, the environment, and a sustainable future. Boston: Beacon Press.

DANDY, G., WALKER, D., DANIELL, T. e WARNER, R. (2008) Planning and design of engineering systems. Oxfordshire: Taylor & Francis, 416 p.

DAVIES, M. P. (2011) 'Filtered dry stacked tailings — the fundamentals'. In: Proceedings Tailings and Mine Waste, Vancouver. Disponível em: http://www.infomine.com/publications/docs/Davies2011.pdf. Acesso em: 14 de abril de 2019.

DE BRITTO, C. M. (2010) 'Desenvolvimento sustentável de comunidades: uma breve introdução ao Método Sistêmico Multimodal'. In: 6 Congresso Brasileiro de Sistemas, Foz do Iguaçu. Anais do 6º Congresso Brasileiro de Sistemas.

DE BRITTO, C. M. (2014) Sustentabilidade e intradisciplinaridade: elementos para uma abordagem sociológica, a partir do Pensamento Sistêmico Multimodal, para um estudo preliminar do Pontal do Pré-Sal. 175 f. Dissertação (Pós-Graduação em Sociologia) – Setor de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DE BRITTO, C. M. (2018) Pensamento Sistêmico Multimodal: aprofundamentos quanto a método, teoria e sociologia no contexto da sustentabilidade e da intradisciplinaridade. 267 f. Tese (Doutorado em Sociologia) – Setor Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

DE BRITTO, C. M. e FLORIANI, D. (2013) 'O Pontal do Pré-sal e a busca por sustentabilidade em Pontal do Paraná: uma reflexão a partir da percepção de alguns agentes sociais locais'. In: XXIX Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología, Santiago. Acta Científica: XXIX Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología.

DE RAADT, J. D. R. (2000) Redesign and management of communities in crisis. Califórnia: Universal Publishers, 158 p.

DE RAADT, J. D. R. (2011) 'Community development and renaissance social humanism: some lessons for systems science', Systemic Practice and Action Research, 24(6), pp. 509–521.

DE RAADT, J. D. R. (2013) Intelligent Christianity for an age of folly. Melbourne, Vic: Melbourne Centre for Community Development.

DE RAADT, J. D. R. (2015) Information and managerial wisdom. Melbourne: Melbourne Centre for Community Development, 194 p.

DE RAADT, J. D. R. (2023) Pensamiento Sistémico Multimodal: una gramática de la ciencia. Melbourne: Melbourne Centre for Community Development.

DE RAADT, J. D. R. e DE RAADT, V. D. (2004a) Wherethere is No Vision the People Perish: Ethical Vision and Community Sustainability. Systems Research and Behavioral Science, 22: 233-247.

DE RAADT, J. D. R. e DE RAADT, V. D. (2004b) Normati-ve Evaluation of Community Projects: A Multimodal Syste-ms Approach. Systemic Practice and Action Research, 17:83-102.

DE RAADT, J. D. R. e DE RAADT, V. D. (2008) 'Arresting the collapse of the city through systemic education: a case study of Melbourne', Systemic Practice and Action Research, 21, pp. 299–322.

DE RAADT, J. D. R. e DE RAADT, V. D. (2014) From Multi-Modal Systems Thinking to Community Development. Melbourne, Vic: Melbourne Centre for Community Development.

DE RAADT, V. D. (2002) Ethics and Sustainable Community Design. Parkland, FL: Universal Publishers.

DE VRIES, M. J. (2005) Teaching about technology: an introduction to the philosophy of technology for non-philosophers. Dordrecht: Springer Netherlands, 172 p.

DE VRIES, M. J. e JOCHEMSEN, H. (2019) The normative nature of social practices and ethics in professional environments. Pensilvânia: IGI Global, 336 p.

DEWEY, J. (1927) The public and its problems. New York: Henry Holt and Company, 224 p.

DIETZ, R. e O'NEILL, D. (2013) Enough is enough: building a sustainable economy in a world of finite resources. San Francisco, CA: Berrett-Koehler Publishers.

DNPM — DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL (2016) Consolidação normativa do DNPM: anexo da Portaria nº 155, de 12 de maio de 2016.

DONALDSON, T. e PRESTON, L. E. (1995) 'The stakeholder theory of the corporation: concepts, evidence and implications', Academy of Management Review, 20(1), pp. 65–91.

DOOYEWEERD, H. (2010) No crepúsculo do pensamento ocidental: estudos sobre a pretensa autonomia do pensamento filosófico. 1. ed. São Paulo: Hagnos, 304 p.

DOOYEWEERD, H. (2015) Raízes da cultura ocidental: as opções pagã, secular e cristã. São Paulo: Editora Cultura Cristã, 256 p.

DOOYEWEERD, H. (2016a) A new critique of theoretical thought. Vol. 1. Jordan Station: Paideia Press, 610 p.

DOOYEWEERD, H. (2016b) A new critique of theoretical thought. Vol. 3. Jordan Station: Paideia Press, 820 p.

DOOYEWEERD, H. (2021) A new critique of theoretical thought. Vol. 2. Ontario, Canadá: Paideia Press.

DUARTE, A. P. (2008) Classificação das barragens de contenção de rejeitos de mineração e de resíduos industriais no Estado de Minas Gerais em relação ao potencial de risco. 130 f. Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

DUPUY, J.-P. (2011) O tempo das catástrofes: quando o impossível é uma certeza. São Paulo: É Realizações.

DUSEK, V. (2009) Filosofia da tecnologia. São Paulo: Edições Loyola, 312 p.

DUTHIE, A. C. R. e LINS, F. (2017) 'A economia circular e o papel da mineração'. In: VI Jornada do Programa de Capacitação Institucional. Rio de Janeiro: PCI/CETEM, 8 p.

DYM, C. L., LITTLE, P., ORWIN, E. J. e SPJUT, R. E. (2009) Engineering design: a project-based introduction. Hoboken: Wiley Publishing, 327 p.

ELLUL, J. (1968) A técnica e o desafio do século. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 445 p.

FAVARINI, B. (2026) 'Terceiro dia de audiências do caso Brumadinho reúne relatos de sobreviventes da tragédia', Itatiaia, Belo Horizonte, 2 de março. Disponível em: https://www.itatiaia.com.br/brasil/sudeste/mg/terceiro-dia-de-audiencias-do-caso-brumadinho-reune-relatos-de-sobreviventes-da-tragedia/. Acesso em: 29 de setembro de 2026.

FEENBERG, A. (1999) Questioning technology. London: Routledge.

FEENBERG, A. (2006) 'What is philosophy of technology?'. In: DAKERS, J. R. (org.) Defining technological literacy. New York: Palgrave Macmillan, 334 p.

FERNANDES, F. R. C., ENRÍQUEZ, M. A. R. da S. e ALAMINO, R. de C. J. (orgs.) (2011) Recursos minerais & sustentabilidade territorial: grandes minas. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, vol. 1, 386 p.

FERREIRA, G. E. e ANDRADE, J. G. de (2004) 'Elaboração e avaliação econômica de projetos de mineração'. In: LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A. e ALMEIDA, S. L. M. de (orgs.) Tratamento de minérios. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, p. 867.

FERREIRA, S. A. S. et al. (2021) 'Impactos sociais e ambientais da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera a partir do olhar dos sujeitos atingidos'. In: XIV Encontro Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia, Presidente Prudente, SP. Anais do XIV Encontro Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia. Presidente Prudente, SP: Editora Realize.

FILHO, L. H. A. (2004) Avaliação do comportamento geotécnico de barragens de rejeitos de minério de ferro através de ensaios de piezocone. 215 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

FJP — FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (2016) PIB de Minas Gerais: anexo estatístico 2010–2013. Disponível em:

http://www.fjp.mg.gov.br/index.php/produtos-e-servicos1/2745-produto-interno-bruto-de-minas-gerais-pib-2. Acesso em: 13 de junho de 2016.

FONTES, F. C. (2012) 'Considerações sobre a Filosofia da Ideia Cosmonômica: a propósito da publicação de Dooyeweerd no Brasil', Monergismo, Brasília, julho. Disponível em: http://monergismo.com/novo/apologetica/consideracoes-sobre-a-filosofia-da-ideia-cosmonomica/. Acesso em: 24 de fevereiro de 2019.

FRAGA, A. de P. C. et al. (2025) É como perder um ente querido: histórias de rio e de mar das populações atingidas pelo desastre da Samarco. 1. ed. São Paulo: Hucitec; FGV EAESP.

FRANÇA, S. C. A. e CASQUEIRA, R. G. (2007) 'Ensaios de sedimentação'. In: Tratamento de Minérios: práticas laboratoriais. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, pp. 393–408.

FRANCISCO, Papa (2015) Carta encíclica do Sumo Pontífice Laudato Si': louvado seja: sobre o cuidado da casa comum. Belo Horizonte: Paulus Editora, 160 p.

FREEMAN, R. E. (2010) Strategic management: a stakeholder approach. Reedição. Cambridge: Cambridge University Press, 292 p.

FREITAS, J. S. (2017) Ferramentas de estratégia como tecnologias: análise, crítica e direcionamento. 72 f. Projeto de pesquisa (Departamento de Ciências Administrativas) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FREITAS, J. S., BAGNO, R. B. e OLIVEIRA, L. D. R. de (2019) 'Uma introdução à filosofia da tecnologia'. In: BAGNO, R. B. e FREITAS, J. S. (orgs.) A sociedade tecnológica na prática. Timburi: Cia. do Ebook, 224 p.

GALLANT, C. (2025) 'Raglan celebrates 30 years of its impact benefit agreement with Nunavik Inuit', Nunatsiaq News, 6 de março. Disponível em: https://nunatsiaq.com/stories/article/raglan-celebrates-30-years-of-its-impact-

benefit-agreement-with-nunavik-inuit/. Acesso em: 30 de setembro de 2026.
GASDA, É. E. (2016) Cristianismo e economia: repensar o trabalho além do capitalismo. São Paulo: Paulinas.
GEORGESCU-ROEGEN, N. (1971) The entropy law and the economic process. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
GERMANY, D. J. (2002) A mineração no Brasil. Secretaria Técnica do Fundo Setorial Mineral, Rio de Janeiro, maio. Disponível em: https://www.finep.gov.br/images/a-finep/fontes-de-orcamento/fundos-setoriais/ct-mineral/a-mineracao-no-brasil.pdf. Acesso em: 6 de março de 2019.
GLENCORE CANADA (2025) 'The Raglan Agreement: 30 years of collaboration and innovation', Glencore Canada, 28 de fevereiro. Disponível em: https://www.glencore.ca/en/raglan/News-and-Media/The-Raglan-Agreement--30-years-of-collaboration-and-innovation. Acesso em: 30 de setembro de 2026.
GOMES, R. C. (2010) Caracterização tecnológica e sistemas de disposição de resíduos de mineração: aula 11: ausculta-ção e segurança de barragens de contenção de rejeitos. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto.
GRAHAM, L. R. (1993) The ghost of the executed engineer: technology and the fall of the Soviet Union. Cambridge, MA: Harvard University Press.
GREGG, R. B. (1958) A philosophy of Indian economic development. Ahmedabad: Navajivan Publishing House, 232 p.
GROVES, R. (2020) Durable trades: family-centered economies that have stood the test of time. Oregon: Front Porch Republic.
GUIMARÃES, C. L., MILANEZ, B. e RIBEIRO, H. L. (2019) 'Partido da mineração: a influência das mineradoras nas eleições de 2014 em MG', Revista Terceiro Incluído, 9(1), pp. 81–92. DOI: 10.5216/teri.v9i1.54217.
GUIMARÃES, N. C., VALADÃO, G. E. S. e PERES, A. E. C. (2012) 'Filtragem de rejeitos de minério de ferro visando à

sua disposição em pilhas', REM. Revista Escola de Minas, 65, pp. 543–548.
HAFTOR, D. M. (2014) 'Dealing with complexity: some critical reflections upon Verkerk's "Triple I Model"'. In: RATHBONE, M., SCHÉELE, F. von e STRIJBOS, S. (orgs.) Social change in our technology-based world. Amsterdam: Rozenberg, 185 p.
HARRIS, C. E., PRITCHARD, M. S. e RABINS, M. J. (2009) Engineering ethics: concepts and cases. Wadsworth: Wadsworth Cengage Learning, 332 p.
HAZONY, Y. (2012) The philosophy of Hebrew Scripture. Cambridge: Cambridge University Press.
HOOVER, H. (1951) The memoirs of Herbert Hoover: years of adventure. New York: The Macmillan Company, 501 p.
HUGGINS, C. (org.) (2020) Property rights and governance in artisanal and small-scale mining: critical approaches. London: Routledge.
ICMM — INTERNATIONAL COUNCIL ON MINING AND METALS (2013) O setor da mineração no Brasil: fortalecimento institucional para o desenvolvimento sustentável. [S. l.]: ICMM.
ILLICH, I. (1978) A convivencialidade. Lisboa: Publicações Dom Quixote.
INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO — IBRAM (2015) Informações sobre a economia mineral brasileira 2015. Brasília: IBRAM, setembro. Disponível em: http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf. Acesso em: 8 de março de 2018.
INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO — IBRAM (2016) Gestão e manejo de rejeitos da mineração. 1. ed. Brasília: IBRAM, 128 p.
INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS (2014) 'Publicado o zoneamento climático detalhado do Brasil', IPEF. Disponível em: https://www.ipef.br/ipefexpress/nr071.htm#:~:text=O%20novo%20mapa%20clim%C3%A1

tico%20obtido,%2C%20Cwc%2C%20Csa%2C%20Csb. Acesso em: 24 de novembro de 2023.
ITAIPU (2023) 'Rio Paraná'. Disponível em: https://www.itaipu.gov.br/energia/rio-parana. Acesso em: 20 de novembro de 2023.
JACKSON, W. (1994) Becoming native to this place. Lexington: University Press of Kentucky.
JENNINGS, R. (2000). Participatory Development as New Paradigm: The Transition of Development Professionalism. Paper prepared for the Community Based Reintegration and Rehabilitation in Post-Conflict Settings Conference, Washington DC, 5 de outubro de 2000, 20-21.
JONAS, H. (2006) O princípio responsabilidade: ensaio de uma ética para a civilização tecnológica. Rio de Janeiro: Contraponto – Ed. PUC-RIO, 353 p.
JORNAL NACIONAL/O GLOBO ONLINE (2006) 'Contaminação mata peixes no Rio Paraná', Gazeta do Povo. Disponível em: https://www.gazetadopovo.com.br/vida-publica/contaminacao-mata-peixes-no-rio-parana-a9m8afwadme6b5uf7ph0x5gem/. Acesso em: 24 de novembro de 2023.
JUNGLE, T. (2016) Rio de Lama. São Paulo: Academia de Filmes; Beenoculus; Maria Farinha Filmes. Documentário (9 min 34 s), realidade virtual.
KALSBEEK, L. (2016) Contornos da filosofia cristã. São Paulo: Editora Cultura Cristã, 288 p.
KEELING, A. e SANDLOS, J. (2015) Mining and communities in Northern Canada: history, politics, and memory. Calgary: University of Calgary Press.
KELLY, M. (1988) Mining and the freshwater environment. London: Elsevier Applied Science.
KEMP, D. (2010) 'Mining and community development: problems and possibilities of local-level practice', Community Development Journal, 45(2), pp. 198–218. DOI: 10.1093/cdj/bsp006.
KLOHN, E. J. (1981) 'The development of current tailing dam design and construction methods'. In: WILSON, D. (org.)

Design and construction of tailing dams. Golden: Colorado School of Mines, 280 p.
KOEN, B. V. (1985) El método de ingeniería. 1. ed. Bogotá: Universidad del Valle, 97 p.
KOEN, B. V. (2003) Discussion of the method: conducting the engineer's approach to problem solving. Oxford: Oxford University Press, 276 p.
KOHR, L. (1957) The breakdown of nations. New York: E. P. Dutton & Co.
KOK, J. H. (1998) Patterns of the Western mind: a Reformed Christian perspective. Sioux Center, Iowa: Dordt College Press, 258 p.
KRETZMANN, J. P. e MCKNIGHT, J. L. (1993) Building communities from the inside out: a path toward finding and mobilizing a community's assets. Evanston: Institute for Policy Research, Northwestern University.
LADEIRA, P. T., SALDAÑA, P., CARVALHO, A., WITZEL, N. e GANDOLFO, H. (2023) Fantasmas da lama: a vida dos atingidos pela mineração em MG, oito anos após Mariana. São Paulo: Folha de S.Paulo. Documentário (vídeo).
LASCHEFSKI, K. A. (2020) 'Rompimento de barragens em Mariana e Brumadinho (MG): desastres como meio de acumulação por despossessão', AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política, 2(1), pp. 98–143.
LEGADO DE BRUMADINHO (2026) 'Audiências sobre a tragédia-crime de Brumadinho entram em fase técnica a partir da próxima sexta-feira (13/3) no TRF6', Legado de Brumadinho, 9 de março. Disponível em: https://legadodebrumadinho.com.br/audiencias-sobre-a-tragedia-crime-de-brumadinho-entram-em-fase-tecnica-a-partir-da-proxima-sexta-feira-13-3-no-trf6/. Acesso em: 28 de setembro de 2026.
LÉLÉ, S. M. (1991) 'Sustainable development: a critical review', World Development, 19(6), pp. 607–621.
LOPES, B., GOUVEIA, M. e ZARA, M. (2021) 'Pescadores relacionam morte de peixes com queda no nível do Rio Pa-

raná após redução de vazão em usina hidrelétrica', Portal G1. Disponível em: https://g1.globo.com/sp/presidente-prudente-regiao/noticia/2021/07/21/pescadores-relacionam-morte-de-peixes-com-queda-no-nivel-do-rio-parana-apos-reducao-de-vazao-em-usina-hidreletrica.ghtml. Acesso em: 20 de novembro de 2023.

LOVINS, A.B. (1973) Open pit mining. London: Earth Island.

LOZANO, F. A. E. (2006) Seleção de locais para barragens de rejeito usando o método de análise hierárquica. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LUZ, A. B. da e LINS, F. A. F. (2004) 'Introdução ao tratamento de minérios'. In: LUZ, A. B. da, SAMPAIO, J. A. e ALMEIDA, S. L. M. de (orgs.) Tratamento de minérios. Rio de Janeiro: CETEM-MCT, p. 837.

MACHADO, P. A. L. (2004) Direito ambiental brasileiro. São Paulo: Malheiros, 1432 p.

MARTIN, T. E. e MCROBERTS, E. C. (1999) 'Some considerations in the stability analysis of upstream tailings dams', Proceedings of the Sixth International Conference on Tailings and Mine Waste, 99, pp. 287–302.

MAX-NEEF, M. (1994) Desarrollo a escala humana: conceptos, aplicaciones y algunas reflexiones. Montevideo: Editorial Nordan.

MAX-NEEF, M. e SMITH, P. B. (2014) La economía desenmascarada: del poder y la codicia a la compasión y el bien común. Barcelona: Icaria Editorial, 224 p.

MAY, L. (1992) Sharing responsibility. Chicago: University of Chicago Press, 106 p.

MCKNIGHT, J. (1995) The careless society: community and its counterfeits. New York: BasicBooks.

MENON, E. de B. (2023) Aplicação do Método Sistêmico Multimodal em Comunidade Ribeirinha no Rio Paraná - Análise dos Vínculos Intermodais. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciencias Biológicas) – Centro

Universitario União das Américas Descomplica, Foz do Iguaçu, p. 24.
MILANEZ, B. et al. (2015) 'Dialogues between social and natural sciences: contribution to the debate on socio-environmental conflicts', Anais da Academia Brasileira de Ciências, 87(4), pp. 2335–2348. DOI: 10.1590/0001-3765201520140724.
MILANEZ, B., JARDIM DE MORAES WANDERLEY, L. e MAGNO, L. (2022) 'Mineração e políticas públicas: conflitos, retrocessos e propostas para um outro modelo mineral', Revista da ANPEGE, 18(36). DOI: 10.5418/ra2022.v18i36.16248. Disponível em: https://ojs.ufgd.edu.br/anpege/article/view/16248. Acesso em: 28 de setembro de 2026.
MILANEZ, B. e LOSEKANN, C. (orgs.) (2017) Desastre da Samarco: a mineração contra os direitos humanos. Vitória: EDUFES.
MINAS GERAIS (2016) Decreto n° 46.993, de 2 de maio de 2016. Institui a Auditoria Técnica Extraordinária de Segurança de Barragem e dá outras providências. Disponível em: http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=41216. Acesso em: 13 de abril de 2019.
MINAS GERAIS. Assembleia Legislativa (2021) Opção pelo risco: causas e consequências da tragédia de Brumadinho: a CPI da ALMG. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa de Minas Gerais.
MINAS GERAIS. Ministério Público do Estado de Minas Gerais (2019) Força-Tarefa Brumadinho. Ação Civil Pública: autos nº 5000053-16.2019.8.13.0090. Brumadinho, 29 de abril. Disponível em: https://www.mpmg.mp.br/data/files/21/F4/E1/51/2D44A7109CEB34A7760849A8/Brumadinho%20-%20ACP%20Principal%20-%20_rea%20socio-ec_nomica%20.pdf. Acesso em: 28 de setembro de 2026.
MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (2019) 'Boletim informativo do setor mineral 2019', Brasília, fevereiro. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/

10584/2674215/
Boletim+Informativo+do+Setor+Mineral+2018/e9ec9b19-17a8-46b5-bffb-5f520d244c6e. Acesso em: 9 de abril de 2019.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL (2008) 'Após acordo com o MPF/SP, Cesp investigará morte de peixes no rio Paraná', Jusbrasil. Disponível em: https://www.jusbrasil.com.-br/noticias/apos-acordo-com-o-mpf-sp-cesp-investigara-morte-de-peixes-no-rio-parana/340929. Acesso em: 20 de novembro de 2023.

MITCHAM, C. (1994) Thinking through technology: the path between engineering and philosophy. Chicago: University of Chicago Press, 410 p.

MITCHAM, C. (1997) 'A importância da filosofia na engenharia', Associação Brasileira de Cristãos na Ciência, Belo Horizonte, junho. Disponível em: http://www.cristaosnaciencia.org.br/content/uploads/A-Import%C3%A2ncia-da-Filosofia-na-Engenharia.pdf. Acesso em: 9 de março de 2019.

MITCHAM, C. (1998) 'The importance of philosophy to engineering', Revista Teorema: Revista Internacional de Filosofía, Valência, 17(3), pp. 27–47.

MITCHAM, C. e HUERTA, M. G. de la (2001) La ética en la profesión de ingeniero: ingeniería y ciudadanía. Santiago: Faculdade de Ciências Físicas e Matemática da Universidade do Chile, 161 p.

MITCHELL, M. T. e PETERS, J. (2018) Localism in the mass age: a Front Porch Republic manifesto. Eugene, Oregon: Wipf and Stock.

MONTEVECCHIO, C. A. e DENEULIN, S. (2025a) Abordagens católicas à mineração: um enquadramento para reflexão, planeamento e ação. University of Notre Dame. Relatório. DOI: 10.7274/30417058.

MUMFORD, L. (2004) A cidade na história: suas origens, transformações e perspectivas. São Paulo: Martins Fontes.

NITAHARA, A. (2019) 'Mineração representa 60% da arrecadação de Brumadinho', Agência Brasil, Brasília, 28 de ja-

neiro. Reprodução em Exame. Disponível em: https://exame.com/economia/mineracao-representa-60-da-arrecadacao-de-brumadinho/. Acesso em: 28 de setembro de 2026.

OLIVEIRA, F. de A. (2006) 'Philosophando coram Deo: uma apresentação panorâmica da vida, pensamento e antecedentes intelectuais de Herman Dooyeweerd', Revista Fides Reformata, São Paulo, XI(2), pp. 73–100. Disponível em: https://cpaj.mackenzie.br/wp-content/uploads/2018/11/4-Philosophando-Coram-Deo-uma-apresenta%C3%A7%C3%A3o-panor%C3%A2mica-da-vida-pensamento-e-antecedentes-intelectuais-de-Herman-Dooyeweerd-Fabiano-A.-Olivei.pdf. Acesso em: 9 de abril de 2019.

OLIVEIRA, W. de (2004) Os impactos socioambientais motivados pela UHE Porto Primavera no município de Anaurilândia – MS. 171 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

ORLOVE, B. e CATON, S. C. (2010) 'Water sustainability: anthropological approaches and prospects', Annual Review of Anthropology, 39, pp. 401–415.

ORTEGA Y GASSET, J. (1963) Meditação da técnica: meditação sobre a técnica: vicissitudes das ciências. Cacofonia na física. Rio de Janeiro: Livro Ibero-Americano Limitada, 135 p.

ORTEGA Y GASSET, J. (2004) História como sistema: sobre la razón histórica como nueva revelación. Disponível em: http://www.laeditorialvirtual.com.ar/Pages/Ortega_y_Gasset/Ortega_HistoriaComoSistema.htm. Acesso em: 22 de novembro de 2023.

OSTROM, E. (1990) Governing the commons: the evolution of institutions for collective action. Cambridge: Cambridge University Press.

PAHL, G. e BEITZ, W. (2013) Engineering design: a systematic approach. London: Springer Science & Business Media, 544 p.

PALACIOS, E. M. G. et al. (2003) Introdução aos estudos CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade). Madrid: Organización de Estados Iberoamericanos, 172 p.

PAMPLONA, N. (2021) 'Corte de água em hidrelétricas do Paraná mata peixes e ameaça piracema', Folha de S.Paulo. Disponível em: https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2021/08/corte-de-agua-em-hidreletricas-do-parana-mata-peixes-e-ameaca-piracema.shtml. Acesso em: 20 de novembro de 2023.

PARREIRAS, J. G., CÂMARA, T. M. e SOUZA, M. E. P. de (2019) 'A construção do Novo Bento Rodrigues e os desafios da retomada do modo de vida dos atingidos e atingidas pela Barragem de Fundão', Revista FÓRUM PATRIMÔNIO: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável, 10(1).

PERDIGÃO, B. O. (2023) Evaluación normativa de la viabilidad comunitaria en el barrio de Santa Terezinha: un enfoque sistémico. Melbourne Centre for Community Development. No prelo. Acesso em: 18 de setembro de 2023.

PERDIGÃO, B. O. (2025) Sostenibilidad comunitaria: aplicación del Pensamiento Sistémico Multimodal en un barrio de Brasil: tesis doctoral. Melbourne: Melbourne Centre for Community Development.

PERDIGÃO, B. O. (2019) 'Análise do desastre da barragem de Fundão a partir de uma teoria não reducionista da realidade'. In: BAGNO, R. B. e FREITAS, J. S. (orgs.) A sociedade tecnológica na prática. Timburi: Cia. do Ebook, paginação irregular.

PERDIGÃO, B. O. (2026) Do diagnóstico sistêmico ao autogoverno local: a municipalidade participativa como escola primária da liberdade. Palestra de abertura do 21º Congresso Brasileiro de Sistemas. Franca, SP.

PEREIRA, E. L. (2005) Estudo do potencial de liquefação de rejeitos de minério de ferro sob carregamento estático. 210 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

PEREIRA, L. H. C. S. (2013) Considerações sobre o processo de beneficiamento de minério de ferro: beneficiamento, pelotização e análise online de teores. 44 f. Monografia (Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Minerais) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PETROSKI, H. (1992) To engineer is human: the role of failure in successful design. New York: Vintage Books, 251 p.

PINTO, M. S. L. e OLIVEIRA, R. R. (2004) 'Estratégias competitivas no setor elétrico brasileiro: uma análise dos interesses e expectativas dos atores da CHESF', Revista de Administração Contemporânea — RAC, pp. 131–135.

PIO XI (1931) Carta encíclica Quadragesimo Anno: sobre a restauração e aperfeiçoamento da ordem social em conformidade com a lei evangélica no XL aniversário da encíclica de Leão XIII «Rerum novarum». Roma, 15 de maio. Disponível em: https://www.vatican.va/content/pius-xi/pt/encyclicals/documents/hf_p-xi_enc_19310515_quadragesimo-anno.html. Acesso em: 29 de setembro de 2026.

POEL, I. van de (2016) Engineering ethics. 4TU.Centre for Ethics and Technology. Disponível em: https://ethicsandtechnology.eu/wp-content/uploads/downloadable-content/Engineering-Ethics-with-review-comments-included.pdf. Acesso em: 24 de fevereiro de 2019.

POEL, I. van de, FAHLQUIST, J. N., DOORN, N., ZWART, S. e ROYAKKERS, L. (2012) 'The problem of many hands: climate change as an example', Science and Engineering Ethics, 18(1), pp. 49–67. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11948-011-9276-0. Acesso em: 15 de fevereiro de 2019.

POEL, I. van de e ROYAKKERS, L. (2011) Ethics, technology, and engineering: an introduction. 1. ed. Malden: Wiley-Blackwell, 364 p.

POEL, I. van de, ROYAKKERS, L. e ZWART, S. D. (2015) Moral responsibility and the problem of many hands. 1. ed. New York: Routledge, 225 p.

PORFÍRIO, F. (2023) ‘Dever ambiental — Cesp é condenada a indenizar pescadores’, SEDEP. Disponível em: https://www.sedep.com.br/noticias/dever-ambiental-cesp-condenada-a-indenizar-pescadores/. Acesso em: 24 de novembro de 2023.

PORTER, T. M. (1996) Trust in numbers: the pursuit of objectivity in science and public life. New Jersey: Princeton University Press, 328 p.

PORTES, A. M. C. (2013) Avaliação da disposição de rejeitos de minério de ferro nas consistências polpa e torta. 180 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia e Transportes) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

POSTMAN, N. (1994) Tecnopólio: a rendição da cultura à tecnologia. São Paulo: Nobel, 221 p.

PRONZATO, C. e PONTONE, R. (2019) LAMA — O crime vale no Brasil, a tragédia de Brumadinho: documentário completo. [S. l.]: Carlos Pronzato. 1 vídeo. Disponível em: YouTube. Acesso em: 25 de setembro de 2026.

PUTNAM, R. D. (2006) Comunidade e democracia: a experiência da Itália moderna. Rio de Janeiro: FGV.

REBOUÇAS, A. (1883) Agricultura nacional: estudos economicos — propaganda abolicionista e democratica. Rio de Janeiro: A. J. Lamoureux & Co.

REZENDE, G. (2025) ‘Tragédia de Mariana: novo Bento ainda não é símbolo de pertencimento para alguns atingidos’, O Tempo, Belo Horizonte, 30 de maio. Disponível em: https://www.otempo.com.br/cidades/2025/5/30/tragedia-de-mariana-novo-bento-ainda-nao-e-simbolo-de-pertencimento-para-alguns-atingidos. Acesso em: 29 de setembro de 2026.

RIESSEN, H. van (2018) Uma abordagem cristã da ciência. 1. ed. Belo Horizonte: P&B Publicações, 96 p.

RITCEY, G. M. (1989) Tailings management: problems and solutions in the mining industry. Michigan: Elsevier Science Publishers, 970 p.

ROBERTSON, A. M. (1986) 'Mine waste disposal: an update on geotechnical and geohydrological aspects'. In: Geotechnical and Geohydrological Aspects of Waste Management: Proceedings of the Eighth Symposium, Fort Collins, CO. Colorado State University, pp. 31–50.

RODERJAN, C. V. et al. (2002) 'As unidades fitogeográficas do estado do Paraná, Brasil', Ciência & Ambiente, 24(1), pp. 75–92.

RODRIGUES, A. B. (2017) Riscos da disposição de rejeitos da mineração e técnicas alternativas de disposição. 27 f. Monografia (Bacharel em Engenharia de Minas) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

ROGERS, G. F. C. (1983) The nature of engineering: a philosophy of technology. London: Macmillan & Company Ltd, 105 p.

SALE, K. (2017) Human scale revisited: a new look at the classic case for a decentralist future. White River Junction: Chelsea Green Publishing.

SANTOS, F. P. (2017) 'O problema de só fazer o seu trabalho — Parte I', Associação Brasileira de Cristãos na Ciência, Belo Horizonte, março. Disponível em: http://www.cristaosnaciencia.org.br/recursos/o-problema-de-so-fazer-o-seu-trabalho-parte-i/. Acesso em: 24 de fevereiro de 2019.

SANTOS, M. F. dos e RIBEIRO, A. R. (2024) 'Cooperativas minerais e a importância da legalização: estudo de caso da Coogavepe', Caderno Pedagógico, 21(6). DOI: 10.54033/cadpedv21n6-065.

SANTOS, M. (2000) Por uma outra globalização: do pensamento único à consciência universal. Rio de Janeiro: Record, 174 p.

SANTOS, M. (2005) Da totalidade ao lugar. São Paulo: EDUSP.

SANTOS, M. (2008) Técnica, espaço, tempo: globalização e meio técnico-científico-informacional. 5. ed. São Paulo: Edusp, 176 p.

SANTOS, M. (2014) O espaço do cidadão. São Paulo: EDUSP.
SANTOS, M. (2020) A natureza do espaço: espaço e tempo, razão e emoção. 3. ed. São Paulo: Hucitec.
SCHÖN, D. A. (1983) The reflective practitioner: how professionals think in action. Nova York: Basic Books, 384 p.
SCHUMACHER, E. F. (2010) Small is beautiful: economics as if people mattered. New York: Harper Perennial.
SCHUURMAN, D. (2013) Shaping a digital world: faith, culture and computer technology. Illinois: InterVarsity Press, 138 p.
SCHUURMAN, E. (2009) Technology and the future: a philosophical challenge. Jordan Station: Paideia Press, 532 p.
SCHUURMAN, E. (2016a) Fé, esperança e tecnologia. Viçosa: Ultimato, 272 p.
SCHUURMAN, E. (2016b) Cristãos em Babel. Brasília: Monergismo, 41 p.
SCHUURMAN, E. (2018) Reflexões sobre a sociedade tecnológica. 1. ed. Belo Horizonte: P&B Publicações.
SCHWARTZ, E. S. (1975) A inflação da técnica: o declínio da tecnologia na civilização moderna. São Paulo: Melhoramentos, 312 p.
SENG, SUE-LEE. (2011) A Sustainable Community Design for Richmond Public-Housing Estate. Melbourne Centre for Community Development.
SILVA, É. R. P. da (2011) Filosofia da engenharia: o que é e por que você deveria se interessar. 140 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia de Produção) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
SILVA, G., BOAVA, D. e MACEDO, F. (2016) 'Refugiados de Bento Rodrigues: estudo fenomenológico sobre o desastre de Mariana, MG', in Anais do IV Congresso Brasileiro de Estudos Organizacionais, Porto Alegre, 19–21 de outubro, pp. 1–18. Disponível em: https://anaiscbeo.emnuvens.com.-

br/cbeo/article/view/205. Acesso em: 30 de setembro de 2026.
SILVA, J. P. S. (2007) 'Impactos ambientais causados pela mineração', Revista Espaço da Sophia, 8, novembro. Disponível em: http://www.registro.unesp.br/sites/museu/basededados/arquivos/00000429.pdf. Acesso em: 2 de maio de 2019.
SILVA, L. C. do N. e (2018) Barragens de rejeito da mineração: análise do sistema de gestão do Estado de Minas Gerais. 1. ed. Rio de Janeiro: Lumen Juris, 188 p.
SILVEIRA, R. M. (2007) 'Uso sustentável é a estratégia da Cesp para preservar o meio ambiente', Jornalista Rogério Mascia Silveira. Disponível em: https://rogeriosilveira.jor.br/tag/usina-de-porto-primavera/. Acesso em: 20 de novembro de 2023.
SICONFI (2016) Sistema de informações contábeis e fiscais do setor público brasileiro. Disponível em: https://siconfi.tesouro.gov.br/siconfi/pages/public/consulta_finbra/finbra_list.jsf. Acesso em: 13 de junho de 2016.
SOARES, N. B. e BONDUKI, N. (2024) 'Neoextrativismo e autoritarismo corporativo no processo de reassentamento de Bento Rodrigues, Mariana-MG', Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais, 26(1), pp. 1–31. Disponível em: https://doi.org/10.22296/2317-1529.rbeur.202420pt. Acesso em: 30 de setembro de 2026.
SOCIOATLAS (2018) Qualificação modal de fatores e sistemas sociais. Disponível em: https://socioatlas.miraheze.org/m/3Pq. Acesso em: 27 de maio de 2019.
SPIER, J. M. (2019) O que é a filosofia calvinista? Brasília: Monergismo, 129 p.
STRAUSS, D. F. M. (2009) Philosophy: discipline of the disciplines. Grand Rapids, MI: Paideia Press, 716 p.
STRIJBOS, S. (2017) 'Ética e o caráter sistêmico da tecnologia moderna', Associação Brasileira de Cristãos na Ciência, Belo Horizonte, fevereiro. Disponível em: http://www.cristaosnaciencia.org.br/content/uploads/%C3%89tica-e-o-

Car%C3%A1ter-Sist%C3%AAmico-da-Tecnologia-Moderna-Fernando-Pasquini.pdf. Acesso em: 22 de fevereiro de 2019.

STRIJBOS, S. e BASDEN, A. (2006) In search of an integrative vision for technology: interdisciplinary studies in information systems. New York: Springer, 310 p.

TAYLOR, F. W. (1911) The principles of scientific management. New York: Harper & Brothers, 144 p.

THOMPSON, D. F. (2017) 'Designing responsibility: the problem of many hands in complex organizations'. In: HOVEN, J. van den, MILLER, S. e POGGE, T. (orgs.) The design turn in applied ethics. Oxford: Oxford University Press, 42 p.

TOLEDO, A. d. P., RIBEIRO, J. C. e THOMÉ, R. (2016) Acidentes com barragens de rejeitos da mineração e o princípio da prevenção: de Trento (Itália) a Mariana (Brasil). Rio de Janeiro: Lumen Juris, 176 p.

TOLSTÓI, L. (2012) What to do? North Carolina: Duke Classics.

TV ASSEMBLEIA (MINAS GERAIS) (2016) Memórias Rompidas – um ano depois da lama: episódios 1 ao 6. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais. 6 vídeos. Disponível em: https://sites.almg.gov.br/mariana/index.html. Acesso em: 25 de setembro de 2026.

TV BRASIL (2019) Caminhos da Reportagem: Brumadinho: vale de lama. Brasília, DF: Empresa Brasil de Comunicação. 1 vídeo. Disponível em: https://tvbrasil.ebc.com.br/caminhos-da-reportagem/2019/02/brumadinho-vale-de-lama. Acesso em: 25 de setembro de 2026.

UNAMUNO, M. de (1927) Cómo se hace una novela. Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes. Disponível em: http://www.cervantesvirtual.com/obra-visor/como-se-hace-una-novela-785438/html/3afaf268-9b02-4b00-b225-221b10a99140_2.html. Acesso em: 22 de novembro de 2023.

UNAMUNO, M. de (1996) Do sentimento trágico da vida nos homens e nos povos. São Paulo: Ed. Martins Fontes.

VANDERBURG, W. H. (2011) Our war on ourselves: rethinking science, technology, and economic growth. Toronto: University of Toronto Press, 400 p.

VERBEEK, P.-P. (2005) What things do: philosophical reflections on technology, agency, and design. Pennsylvania: Penn State University Press, 264 p.

VERKERK, M. J. (2014) 'The Triple I Model: a translation of Dooyeweerdian philosophical concepts for engineers'. In: RATHBONE, M., SCHÉELE, F. von e STRIJBOS, S. (orgs.) Social change in our technology-based world. Amsterdam: Rozenberg, 185 p.

VERKERK, M. J. (2018) 'Ferramentas filosóficas para projetos tecnológicos: o poder conceitual da filosofia de Dooyeweerd', Diálogo & Antítese, Belo Horizonte, novembro. Disponível em: http://www.cristaosnaciencia.org.br/content/uploads/Ferramentas-filos%C3%B3ficas-para-projetos-tecnologicos.pdf. Acesso em: 10 de dezembro de 2018.

VERKERK, M. J., HOOGLAND, J., DER STOEP, J. van e DE VRIES, M. J. (2018) Filosofia da tecnologia: uma introdução. Viçosa, MG: Ultimato, 377 p.

VERKERK, M. J.; POLINDER, H.; RIBEIRO, P. F. (2014) 'Sustainable energy and smart grids: breakthrough in thinking, modelling and technology'. In: BREEMAN, H. van den, MURRAY, D., BILSKI, B. e VERKERK, M. J. (orgs.) Breakthrough: from innovation to impact. Vol. 1. Geldermalsen: The Owls Foundation, 441 p.

VIANA, M. B. (2012) Avaliando minas: índice de sustentabilidade da mineração (ISM). 372 f. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília.

VIANNA, E. (2026) Colapso e êxodo urbano: construindo vidas resilientes e autônomas no campo. Gravatal, SC: Editora Impacto Positivo.

VICK, S. G. (1983) Planning design and analysis of tailings dams. New York: John Wiley & Sons, 369 p.

VIEIRA, L. de F. dos S. (2014) A valoração da beleza cênica da paisagem do bioma pampa do Rio Grande do Sul: proposição conceitual e metodológica. 251 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

VINCENTI, W. G. (1993) What engineers know and how they know it: analytical studies from aeronautical history. Baltimore: The John Hopkins University Press, 326 p.

WEINBERG, A. M. (1972) 'Science and trans-science', Science, 177(4045), p. 211. Disponível em: https://science.sciencemag.org/content/177/4045/211. Acesso em: 5 de abril de 2019.

WHITEHEAD, A. N. (2011) Science and the modern world. Cambridge: Cambridge University Press, 278 p.

WINNER, L. (1989) The whale and the reactor: a search for limits in an age of high technology. Chicago: University of Chicago Press, 216 p.

WINNER, L. (1990) 'Engineering ethics and political imagination'. In: DURBIN, P. T. (org.) Broad and narrow interpretations of philosophy of technology. Dordrecht: Springer, 196 p.

WORLD BANK e ICMM (2005) Community Development Toolkit. Washington, DC e London: World Bank and ICMM. Disponível em: https://www.icmm.com/page/629/community-development-toolkit. Acesso em: 30 de agosto de 2026.

YORAN, H. (2011) Between utopia and dystopia: Erasmus, Thomas More, and the humanist republic of letters. Lexington: Lexington Books.

ZHOURI, A., BOLADOS, P. e CASTRO, E. (orgs.) (2016) Mineração na América do Sul: neoextrativismo e lutas territoriais. São Paulo: Annablume.

Anexo I – Trabalho de Conclusão de Curso de Elisa de Bastiani Menon

Apresentação do Anexo

Ao longo desta edição procurei mostrar que a pesquisa acadêmica não é um produto acabado, mas um processo contínuo de aprendizado, revisão e amadurecimento intelectual. As páginas anteriores registram parte desse percurso: desde as reflexões que deram origem ao meu Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, passando pelas revisões críticas apresentadas nesta edição, até as novas conclusões desenvolvidas posteriormente em meus estudos sobre comunidade, tecnologia e desenvolvimento.

Nesse contexto, a inclusão do trabalho de Elisa de Bastiani Menon não deve ser entendida como um simples material complementar. Sua presença neste volume amplia a discussão iniciada em outro contexto e traz para o livro perguntas semelhantes sobre a relação entre grandes empreendimentos tecnológicos e as comunidades humanas afetadas por eles.

Enquanto minha pesquisa teve como ponto de partida os desafios relacionados à mineração e à gestão de rejeitos, o estudo desenvolvido por Elisa volta sua atenção para os impactos da instalação da Usina Hidrelétrica Engenheiro Sérgio Motta (Porto Primavera) sobre uma comunidade ribeirinha do Rio Paraná. À primeira vista, mineração e geração hidrelétrica podem parecer temas distintos. Contudo, ambas envolvem grandes intervenções técnicas sobre o território, profundas transformações ambientais e sociais e a necessidade de compreender como tais processos afetam as formas concretas de vida das populações locais.

Essa convergência se torna ainda mais evidente na metodologia adotada pela autora. Utilizando o Pensamento Sistêmico Multimodal, a pesquisa procura compreender a realidade comunitária considerando seus aspectos sociais, econômicos, culturais, ambientais, institucionais e históricos. Em vez de anali-

sar a comunidade apenas como receptora passiva dos impactos produzidos pelo empreendimento, o estudo busca compreendê-la como sujeito ativo da vida social, portadora de vínculos, conhecimentos, práticas e formas próprias de organização.

Sob esse aspecto, o trabalho de Elisa ocupa um lugar especial nesta edição. Sua investigação parte diretamente da realidade de uma comunidade concreta e procura compreender como uma grande obra de engenharia interfere em suas relações sociais, econômicas, culturais e ambientais.

Ao revisitar minha própria trajetória intelectual, reconheço que muitas das respostas que eu procurava em 2019 dificilmente poderiam ser encontradas apenas por meio da análise das metodologias de gestão e manejo de rejeitos. Embora aquela pesquisa tenha representado um importante passo em minha formação, hoje entendo que a investigação deveria ter sido conduzida a partir das comunidades afetadas e de suas formas concretas de vida. Nesse sentido, a pesquisa de Elisa aproxima-se muito mais da maneira como atualmente compreendo esses problemas e das perguntas que considero fundamentais.

Por essa razão, considero particularmente apropriado que ambos os trabalhos sejam publicados em um mesmo volume. Cada estudo possui autonomia própria, objetivos específicos e méritos particulares. Ainda assim, os dois trabalhos dialogam entre si, tanto pelas questões que aproximam suas pesquisas quanto pelas diferenças entre os caminhos que cada uma percorreu.

Lidos em conjunto, os dois trabalhos permitem acompanhar parte desse percurso e perceber como uma mesma preocupação pode ser investigada em contextos diferentes. O trabalho de Elisa amplia a discussão apresentada nesta edição para outro tipo de grande empreendimento e outra realidade comunitária, ao mesmo tempo em que registra uma etapa importante na história desta investigação.

Tenho especial satisfação em incluir este trabalho nesta edição, pois tive o privilégio de acompanhar sua elaboração como

orientador, ao lado da professora Ester Wolff Loitzenbauer. Sua presença neste volume reúne, assim, não apenas trabalhos que dialogam por seus temas e perspectivas, mas também parte de uma trajetória de pesquisa da qual tive a oportunidade de participar.

Aplicação do Método Sistêmico Multimodal em Comunidade Ribeirinha no Rio Paraná – Análise Dos Vínculos Intermodais

Elisa de Bastiani Menon

Orientadores:
Prof.ª Dra. Ester Wolff Loitzenbauer
Prof. Dr. Breno Oliveira Perdigão

Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade UniAmérica, Brasil.

1 Introdução

A ciência tem avançado e buscado solucionar problemas sociais e estruturais para promover a qualidade de vida do ser humano e, ao mesmo tempo, promover um desenvolvimento sustentável com menor impacto ao meio ambiente. Diversos estudos são realizados e algumas respostas encontradas, mas dificilmente são colocados em prática, ou, quando colocados, não produzem os resultados esperados. Essa ineficiência está fundamentada no fato de o empreendimento científico moderno estar afastado de seu real propósito, que é o do serviço à humanidade, e não a instituições burocráticas.

Os estudos científicos modernos que possuem o objetivo de desenvolver projetos sociais tendem a ser centralizados em uma única temática e excluem outros fatores, como se os problemas fossem isolados e pudessem ser resolvidos também de forma isolada[793]. A pesquisa de Ben Orlove e Steven C. Caton[794] (2010) sobre a água como um "fato social total", com base na teoria de Marcel Mauss, destaca a teia de conexões da água com uma diversidade de domínios sociais, transcendendo sua abordagem convencional. Ao reconhecer a amplitude das influências sociais, econômicas, políticas, religiosas e estéticas

[793] De Britto, 2010.
[794] Orlove; Caton, 2010.

associadas à água, o texto enfatiza a necessidade premente de uma perspectiva sistêmica para abordar questões inicialmente percebidas como exclusivamente relacionadas à biologia. A adoção do Pensamento Sistêmico Multimodal (PSMM) torna-se crucial diante da compreensão de que a água não apenas exerce impacto sobre, mas também é impactada por uma complexa rede de interações sociais. Essa abordagem revela-se essencial para analisar profundamente desafios que, à primeira vista, podem parecer ligados somente ao aspecto biológico, possibilitando uma compreensão mais abrangente das inter-relações entre a água e os diversos aspectos da vida social, econômica e ambiental.

Na busca por desenvolver uma metodologia mais eficaz na resolução das crises que afetam comunidades e proporcionar uma análise normativa dos sistemas sociais para orientar suas atividades, os pesquisadores Donald e Veronica De Raadt constataram que os desafios enfrentados pelo ser humano são notavelmente complexos. Essa complexidade se revela na multiplicidade de aspectos envolvidos e nas interconexões existentes entre eles.

Através desses estudos, nasceu o Pensamento Sistêmico Multimodal (PSMM), inspirado em três escolas científicas, sendo elas: Historiologia de Miguel de Unamuno e José Ortega y Gasset[795]; Teoria das Modalidades de Herman Dooyeweerd[796]; Teoria Geral dos Sistemas de Ludwig von Bertalanffy[797]. Em "Uma breve introdução ao Método Sistêmico Multimodal", Christian Maciel de Britto[798] escreveu:

> Torna-se indispensável uma nova proposta científica e um novo método de aplicação que possa apoiar comunidades e outros sistemas sociais a garantir sua viabilidade e administrar as crises que enfrentam.

---

[795] Unamuno, 1927; Unamuno, 1996; Ortega Y Gasset, 2004.
[796] Dooyeweerd, 2021.
[797] Bertalanffy, 2014.
[798] De Britto, 2010.

Essa nova perspectiva aborda os projetos sociais considerando todas as problemáticas vivenciadas pelo cidadão, como: crises econômicas, políticas, sociais, sanitárias, ambientais, familiares, estruturais, e seu acesso à saúde e à educação. Na busca pelo desenvolvimento sustentável de uma comunidade, deve-se utilizar uma metodologia que considera os múltiplos fatores que a afetam. Porém, não basta apenas identificar os fatores e as modalidades a que pertencem, mas deve-se compreender que eles estão interligados através de uma abordagem sistêmica, assim como os membros não estão separados do corpo[799]. Dessa forma, o PSMM busca identificar as interações entre os fatores e como apresentar uma solução para essas crises.

Estudos realizados com o PSMM já abordaram fatores bióticos que influenciavam comunidades urbanas na Austrália[800]. Nos respectivos trabalhos, o meio ambiente influenciava na estrutura social estudada, tanto positivamente, na saúde mental das pessoas, quanto negativamente, quando o meio no qual viviam fora afetado. Na Argentina, um estudo com enfoque multimodal avaliou os impactos do agronegócio na comunidade da região[801]. No Brasil, De Britto[802] aplicou o PSMM na cidade de Pontal do Paraná para avaliar os impactos provenientes do programa "Pontal do Pré-Sal", que poderia comprometer algumas comunidades que vivem na região. Ao completar a aplicação do método, De Britto[803] identificou alguns impactos que incluem: o crescimento da população, a construção de estradas, infraestrutura e atividade portuária; afetando negativamente a qualidade da água, a ictiofauna, e consequentemente, a pesca.

A motivação do presente trabalho parte de um provérbio[804]: "Fale em favor daqueles que não podem se defender; garanta justiça para os que estão aflitos. Sim, fale em favor dos pobres

[799] Perdigão, não publicado; De Raadt, 2013; De Raadt & De Raadt, 2014.
[800] De Raadt, 2011; De Raadt & De Raadt, 2008.
[801] Casiello et al., 2010.
[802] De Britto, 2013.
[803] De Britto, 2018.
[804] Bíblia, 2016.

e desamparados, e providencie que recebam justiça." (Pv 31:8-9). E também do artigo 225 da Constituição Federal[805], onde: "Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações". Assim, em favor de uma comunidade de ilhéus no Rio Paraná, o presente estudo buscou dar os primeiros passos visando aplicar o PSMM nesta comunidade, através da identificação dos principais fatores que interferem na viabilidade local e seu relacionamento com os aspectos ambientais (bióticos) que estão em ação na comunidade.

A busca pela aplicação do PSMM parte do princípio de reatar o desenvolvimento saudável da comunidade, o que antes era uma realidade, como relatou o pastor da igreja local:

> "Eles tinham uma boa qualidade de vida, eram pescadores que tinham peixe para pescar. Então era o suficiente. Viviam uma vida simples, mas estavam felizes. Tinham o carro deles na cidade, conseguiam trocar de barco de vez em quando para pescar, se alimentavam bem, cuidavam dos filhos. Era uma vida o.k.; os filhos continuavam por ali, casavam-se com as meninas por ali mesmo, e tinha uma comunidade se desenvolvendo. Mas na medida que tudo mudou e os peixes diminuíram, o impacto ambiental da hidrelétrica começou, a longo prazo, a definir a vida das pessoas, eles não conseguem mais se manter."

2 Materiais e Método

2.1. Local de Estudo

O Rio Paraná estende-se desde São Paulo, Mato Grosso do Sul, até Buenos Aires na Argentina, e possui em sua extensão quatro grandes hidrelétricas: Jupiá, Ilha Solteira, Porto Prima-

[805] Brasil, 1988.

vera e Itaipu[806]. A usina hidrelétrica (UHE) Porto Primavera localiza-se na região Pontal do Paranapanema, no município de Rosana, SP. A hidrelétrica está em operação há mais de 20 anos, e possui uma área de influência de 12 municípios, metade na margem paulista e outra metade na margem sul mato-grossense[807].

O clima da região é, de acordo com Köppen, classificado como clima tropical, com inverno seco (Aw), com as chuvas concentradas no verão, de novembro a abril, e inverno seco, de maio a outubro[808]. No mês mais frio a temperatura média é superior a 18ºC, e as precipitações podem atingir 1800 mm anuais[809]. O bioma é Mata Atlântica, e a região é de Floresta Estacional Semidecidual[810].

Diversos relatos descrevem os impactos causados a essas comunidades quando a barragem de Porto Primavera foi construída[811]. Primeiramente, pela inundação de diversas terras, que fizeram com que muitos pequenos produtores e moradores perdessem suas propriedades. E, consequentemente, sobre o ecossistema limnológico, o qual até hoje apresenta mudanças perceptíveis na comunidade de peixes, principal fonte de renda de boa parte dos moradores[812].

A comunidade de ribeirinhos na região é de aproximadamente 150 habitantes, moradores de três ilhas do Rio Paraná abaixo da barragem da UHE Porto Primavera: a Ilha São Francisco Pacífico, a Ilha Criminosa e a Ilha Moreira (Figura 1), sendo a Ilha Criminosa pertencente ao município de Rosana, SP, e as outras duas ao município de Batayporã, MS. O acesso às ilhas é apenas através de barco. A localização entre dois estados dificulta o acesso a políticas públicas, pois muitas vezes, mesmo sendo de um estado, os moradores estudam e votam no

806 Itaipu, 2021.
807 Ferreira et al., 2021.
808 IPEF, 2014.
809 Ibidem.
810 Roderjan et al., 2002.
811 Ferreira et al., 2021.
812 Arantes e Souza, 2021; Oliveira, 2004.

outro estado, o que no fim faz com que nenhum dos estados assuma a responsabilidade de atender às necessidades dessas ilhas.

As ilhas são habitadas principalmente por caseiros, que cuidam de casas que eventualmente são visitadas com finalidade de passeio. São poucos moradores, sendo a maioria pescadores, e que têm o turismo como uma alternativa de segurança financeira para se manter na ilha, já que a pesca não se apresenta mais como um trabalho promissor. A falta do peixe pode ser algo indiferente para a hidrelétrica e para os que lucram com ela, mas esse fator tem impactado os pescadores em todas as áreas de suas vidas.



Figura 1. Localização das ilhas Moreira, Criminosa e São Francisco Pacífico, no Rio Paraná[813]

Na ilha São Francisco Pacífico está uma igreja não denominacional, plantada há pouco mais de 2 anos por missionários que se mudaram para a ilha com o objetivo de servir aos moradores não apenas com a fé, mas com a busca de uma justiça so-

[813] Google Earth, 2023.

cial, para a melhoria da sua qualidade de vida. Os missionários fomentam projetos de bioconstrução, turismo comunitário, agrofloresta, bolsas de curso superior EAD, adquirir filtros de água para os membros da igreja e suas famílias, arrecadação de recursos financeiros para a comunidade, educação ambiental, e também como apoio emocional e auxílio com as demais dificuldades os moradores possam apresentar.

2.2. Metodologia

O principal desafio na busca do desenvolvimento sustentável da comunidade está no tratamento de problemas complexos que exigem uma metodologia adequada. Dessa forma, o PSMM atua identificando fatores, e suas respectivas modalidades, que descrevam a dinâmica da vida comunitária. Este estudo, de acordo com as pesquisas anteriores, concentra-se em fatores que afetam o bom funcionamento da comunidade, com o objetivo de restaurar a saúde do organismo social como um todo.

2.2.1 Modalidades

A Figura 2 mostra dois eixos; o eixo vertical representa uma hierarquia de modalidades, enquanto o eixo horizontal abrange a diversidade de sistemas vivos. Nesse contexto, identificamos quatro sistemas: social, animal, vegetal e ambiental.

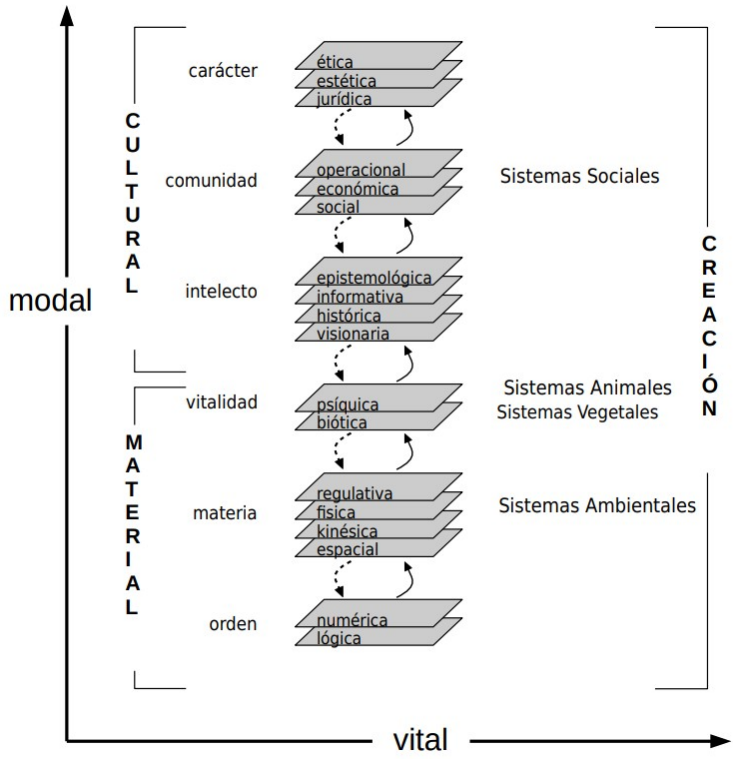


Figura 2. Modalidades da vida humana[814]

Os aspectos da vida comunitária que serão abordados neste trabalho pertencem a áreas específicas da vida humana, organizadas de acordo com a teoria das modalidades[815].

Conforme demonstrado na Figura 2, esses aspectos, denominados na metodologia de fatores, são visualizados por meio de modalidades representadas pelos paralelogramos. Essas modalidades estão agrupadas em seis categorias, três das quais (caráter, comunidade e intelecto) pertencem à cultura, e as ou-

[814] De Raadt, 2023.
[815] Dooyeweerd, 2021.

tras três (vitalidade, matéria e ordem) pertencem ao terreno ou material. Cada grupo tem modalidades específicas, para orientar o diagnóstico. O grupo "comunidade", por exemplo, é composto pelas modalidades operacional, econômica e social.

A atribuição de modalidades a cada um dos fatores identificados fornece orientação normativa que direcionará o pesquisador no processo de diagnóstico e formulação de propostas. Ela também integra uma estrutura de disciplinas intelectuais e suas perspectivas, para trazer a compreensão de seus fatores e vulnerabilidades.

2.2.2 Vínculos Intermodais

Estabelecer uma abordagem para questões complexas de sustentabilidade vai além da mera identificação de fatores e modalidades; deve-se criar vínculos sistêmicos entre eles. O PSMM incorpora esses princípios sistêmicos como base para identificar os fatores vulneráveis em uma comunidade. Essa incorporação é visualizada na Figura 2, através de um eixo sistêmico.

Os vínculos intermodais representam conexões normativas e determinativas entre as modalidades, organizadas em uma sequência que vai da modalidade lógica às modalidades mais normativas.

As diversas modalidades da vida de uma comunidade estão todas conectadas, e cada modalidade contribui para a comunidade quando age de acordo com o seu funcionamento normal. Por exemplo, uma escola, como um sistema social, cumpre sua vocação atuando de acordo com a normalidade da modalidade "epistemológica". Deste modo, por suas conexões, uma ameaça em qualquer modalidade afeta não apenas o sistema dedicado a ela, mas toda a comunidade. Quando um fator, como a educação, está ameaçado, a escola e toda a comunidade sofrem pela modalidade "epistêmica".

No PSMM, tal interligação entre as modalidades é referida como vínculos normativos e determinativos. Na Figura 2, essas conexões são representadas por setas que conectam as modali-

dades. O conjunto inicial é determinativo, indicando o que ocorre, e aponta para cima. O segundo conjunto é normativo, estabelecendo o que deve acontecer, e aponta para baixo.

2.3. Método Empírico

Para realizar a pesquisa na comunidade ribeirinha do Rio Paraná e aplicar a metodologia PSMM, foram realizadas entrevistas com a comunidade, para coletar informações mais precisas e diretas. Com esses dados, foi possível organizar as informações das diferentes pessoas entrevistadas e avaliar os pontos fortes e fracos da comunidade. Isso também nos permite identificar os principais fatores que determinam a viabilidade da comunidade a longo prazo.

As entrevistas com os residentes foram realizadas durante o período de 16 a 22 de outubro de 2023, e por meio da revisão da literatura foram relacionados os fatores identificados. As entrevistas foram conduzidas como conversas guiadas, gravadas em áudio com o consentimento dos participantes e posteriormente transcritas. O Quadro 1 apresenta dados relevantes dos entrevistados, com um total de 17 entrevistas realizadas.

Quadro 1. Ocupação das pessoas da comunidade ribeirinha entrevistadas	
Entrevista N.º	**Ocupação**
1	Pastor da igreja local
2	Dona de casa
3	Dona de casa
4	Caseiro e pescador
5	Pescador
6	Caseiro e pescador
7	Pescadora
8	Caseiro e pescador
9	Pescador
10	Caseira e pescadora
11	Missionária da igreja local
12	Caseira e pescadora
13	Caseiro
14	Adolescentes da ilha, estudantes
15	Casal de pescadores
16	Caseira e pescadora
17	Pescador

Os dados coletados foram carregados em um banco de dados usando o software SmCube, especializado na aplicação empírica do PSMM. Foram distinguidos dois tipos de fontes: dados primários, obtidos nas entrevistas, e dados secundários, extraídos da literatura. A transcrição de ambas as fontes foi organizada em itens que relacionam dois ou mais fatores.

Em seguida, selecionamos os fatores e sobrepusemos a estrutura teórica multimodal, conforme mostrado no Quadro 2.

Esta tabela lista as modalidades às quais os fatores pertencem e as disciplinas que os estudam.

Quadro 2. Fatores identificados na comunidade e seus aspectos modais.

Fator	**Modalidade**	**Disciplina**
Utilitarismo	Ética	Ética
Burocracia	Jurídica	Jurisprudência
Trabalho	Operacional	Administração
Dependência Econômica	Econômica	Economia
Estrutura Social	Social	Sociologia
Educação	Epistêmica	Filosofia, pedagogia
Fé cristã	Visionária	Historiologia
Saúde e Meio Ambiente	Biótica	Biologia, medicina

Os fatores selecionados são: Utilitarismo, que aborda a preocupação apenas com os interesses individuais, excluindo o coletivo; Burocracia, relacionado à instalação da barragem como um empreendimento de uma burocracia industrial, às leis e à distribuição imparcial de direitos; Trabalho, que aponta à visão de trabalho como vocação, não apenas como emprego e fonte de renda para sobrevivência; Dependência Econômica, relacionada à falta de independência financeira e comunidades não auto-sustentáveis, mas que dependem de auxílio financeiro externo; Estrutura Social, ligada ao relacionamento interpessoal da comunidade, estrutura familiar e comunidades em desenvolvimento; Educação, que diz respeito a capacitação para execução de um serviço útil à comunidade, nível de alfabetismo, conhecimentos gerais, acesso à educação e continuação dos estudos; Fé Cristã, tendo como base os valores e a moral cristã, a presença da igreja cristã na ilha e os efeitos de seus ideais; Saúde e Meio Ambiente, que diz respeito ao acesso a saúde, a

qualidade de vida, e também à natureza, equilíbrio ecológico, impactos ambientais e educação ambiental.

Depois de atribuir todos os itens a seus respectivos fatores e modalidades, procedemos à construção de uma matriz usando o SmCube para analisar as relações entre os fatores. Assim como as modalidades, os fatores são inter-relacionados por vínculos, que foram exibidos em uma matriz gerada pelo SmCube, conforme mostrado na Figura 3.

Normative Factor	Arrow	Determinative Factor	Literature	Survey	Total
01 Utilitarismo	↔	03 Burocracia	3	5	8
01 Utilitarismo		06 Estrutura Social	0	2	2
01 Utilitarismo	→	07 Educação	0	7	7
03 Burocracia	→	04 Trabalho	2	16	18
03 Burocracia	↔	05 Dependência Econômica	7	24	31
03 Burocracia		06 Estrutura Social	0	4	4
03 Burocracia	→	12 Saúde e Meio Ambiente	17	19	36
04 Trabalho	←	05 Dependência Econômica	1	32	33
04 Trabalho	↔	07 Educação	0	17	17
04 Trabalho	←	12 Saúde e Meio Ambiente	1	16	17
05 Dependência Econômica	↔	06 Estrutura Social	1	45	46
05 Dependência Econômica	←	12 Saúde e Meio Ambiente	0	29	29
06 Estrutura Social		07 Educação	0	3	3
06 Estrutura Social		10 Fé Cristã	0	12	12
06 Estrutura Social		12 Saúde e Meio Ambiente	0	26	26
07 Educação		10 Fé Cristã	0	9	9
10 Fé Cristã		12 Saúde e Meio Ambiente	0	1	1

Registro 1 de 17

Figura 3. Matriz dos fatores analisados e suas modalidades gerado pelo software SmCube

A matriz apresenta todos os pares possíveis de fatores e o número de itens que vinculam cada par de fatores. As três colunas da esquerda listam todos os pares possíveis de fatores, começando com a relação entre “Utilitarismo” e “Burocracia” e continuando sequencialmente com os outros fatores até a re-

lação entre “Fé Cristã” e “Saúde e Meio Ambiente”. As duas colunas seguintes detalham o número de itens, tanto primários quanto secundários, que relacionam cada par de fatores.

A última coluna lista o número total de itens em ambas as categorias. Esses números indicam o grau de convergência entre os entrevistados e a literatura em sua consideração de cada par de fatores. As setas na segunda coluna representam as ligações entre os fatores, em que uma seta em branco simboliza um efeito benéfico de um fator sobre outro, enquanto uma seta em negrito indica um efeito desfavorável.

3 Análise

A Figura 4 esquematiza os fatores analisados no presente trabalho com as modalidades propostas pelo PSMM.

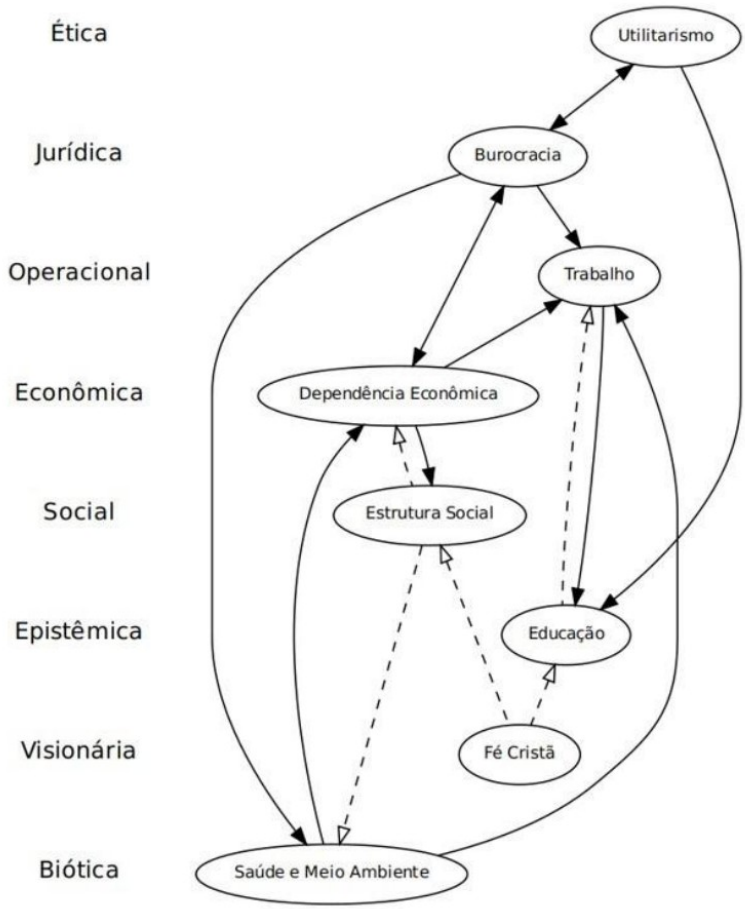


Figura 4. Esquema multimodal dos fatores selecionados e suas modalidades gerado a partir do software SmCube.

3.1 Os impactos de uma Ética Utilitária

Utilitarismo ⬅➡ Burocracia (normativo e determinativo)

A construção de uma barragem hidrelétrica em um rio que abastece uma comunidade ribeirinha pode ser entendida como

um empreendimento burocrático, influenciado por uma ética utilitarista. O desinteresse na comunidade local ilustra a priorização de ganhos econômicos em detrimento do bem-estar da população.

Infelizmente, a burocracia, longe de facilitar, muitas vezes dificulta a capacidade da comunidade de alcançar seus objetivos, prejudicando a participação direta dos trabalhadores, igrejas e famílias nas decisões que impactam seu entorno. Nesse contexto, a construção da barragem pode refletir uma abordagem utilitarista, priorizando o benefício geral e prejudicando as necessidades locais. A implementação dessa infraestrutura negligencia a equidade na distribuição de benefícios, acentuando desigualdades sociais e econômicas. As entrevistas destacam o impacto desigual da burocracia nas vidas dos habitantes, dentre tais impactos podemos destacar:

Injustiças na Indenização: O pescador destaca a desigualdade na compensação pela barragem. De acordo com um pescador da comunidade, houve um período em que a hidrelétrica indenizou alguns pescadores, mas a maior parte dos que receberam foram os menos impactados pelas mudanças no Rio, sendo que, os que mais precisavam, não receberam. A ética utilitária falha em considerar os impactos reais na vida dos moradores, refletindo a falta de equidade na distribuição dos benefícios.

Fernando Porfírio retrata o momento em que a CESP foi condenada a indenizar os pescadores por danos morais e materiais[816]. Entretanto, de acordo com um pescador, essa indenização foi distribuída de forma desigual, o que no final das contas, não resolveu o problema: "Eu tenho uma indenização enrolada aí, vai fazer uns 15 anos, esse 'negócio' da CESP, uns receberam e outros não, quem nunca pescou na vida recebeu, e o pescador ficou para trás. Tem gente que não sabe nem arrumar um anzol, e recebeu a indenização, e aquele pescador de muitos anos na ilha não recebeu nada."

[816] Porfírio, s/d.

Desafios na Intervenção de Órgãos de Preservação Ambiental: O ICMBio não está aprovando projetos de turismo sustentável nas ilhas, e pretende retirar as casas de turismo que já existem, alegando que a presença do turista está degradando o meio, como relatou uma caseira "Não pretendo sair daqui. A ICMBio está trabalhando para tirar os moradores." Entretanto, as casas de passeio não são de grande porte ou de muito luxo, sendo que atrai mais pessoas simples e pescadores amadores. A resolução do problema não seria destruir as casas, mas reaproveitá-las de modo sustentável e benéfico para a comunidade.

A luta entre utilitarismo e preservação ambiental é evidente na tentativa do ICMBio de controlar o turismo, revelando a dificuldade em conciliar interesses utilitários e ambientais. A burocracia complica a implementação de soluções para preservar o local.

Desigualdade no Acesso a Benefícios: A burocracia impõe obstáculos para que os moradores obtenham benefícios. Isso se reflete no fato de que os moradores das ilhas precisam ir até a cidade para solicitar o que lhes é direito, como um atendimento médico, uma cesta básica, e até para solicitar o recebimento do auxílio em época de piracema (pesca proibida), sendo que, o deslocamento pelo rio se torna caro e muitas vezes inacessível por demandar um dia inteiro de trabalho. A necessidade de ir até a cidade para buscar assistência destaca a falta de acessibilidade.

Essa convergência de utilitarismo e burocracia mostra como as decisões administrativas afetam diretamente a qualidade de vida e as perspectivas futuras da comunidade, ressaltando a necessidade de abordagens mais equitativas e sensíveis às realidades locais.

Utilitarismo ➡ Educação (normativo)

Na interação entre utilitarismo e educação na Ilha São Francisco Pacífico, emerge um cenário desafiador no qual a ética utilitária transformou a educação em algo desconectado das necessidades locais. A remoção das escolas locais e a depen-

dência de barcos para levar as crianças à escola revelam as barreiras estruturais que desafiam o acesso à educação.

A busca por conhecimento é marcada por desafios logísticos e deslocamentos familiares em busca de oportunidades educacionais. A mudança de residência de famílias para oferecer educação aos filhos destaca o esforço para contornar as limitações do sistema educacional local.

No entanto, alguns jovens estão buscando por educação superior e profissões, e isso destaca uma esperança contraposta às adversidades, evidenciando a urgência do acesso à educação mais alinhado às realidades locais e menos influenciado por princípios utilitários.

3.2 Barragem Hidrelétrica (Empreendimento Burocrático) e seus Impactos na Comunidade

Burocracia ➡ Trabalho (normativo)

Na interação entre burocracia e trabalho nas ilhas estudadas, a barragem hidrelétrica emerge como um empreendimento no qual prevalecem padrões burocráticos distantes das necessidades da população ribeirinha. Esse modelo impacta diretamente o trabalho e o sustento das famílias na comunidade. As entrevistas evidenciam o impacto direto na economia local, desde a dependência do turismo (diárias de casas de passeio) até a ameaça de maiores restrições na pesca (espécies antes legalizadas), o que interfere na viabilidade das atividades tradicionais.

A burocracia contribui para a necessidade de buscar empregos externos ou recorrer a práticas ilegais para garantir o sustento, como a pesca em época proibida, ou de espécies proibidas. Nesse contexto, a construção da barragem dificulta a execução de um trabalho significativo e sustentável para a comunidade local e destaca a desconexão entre a burocracia e as necessidades reais da comunidade.

Burocracia ⟷ Dependência Econômica (normativo e determinativo)

A relação entre burocracia e dependência econômica apresenta um ciclo de retroalimentação na comunidade estudada. Inicialmente, a implementação de uma usina hidrelétrica, um empreendimento burocrático, resultou em uma dependência econômica para os moradores locais. A pescaria era antes o principal meio de sustento dos moradores, e eles conseguiam ter uma vida de qualidade e serem independentes economicamente. Após a chegada da hidrelétrica e a mudança na abundância de peixes no rio, essa autonomia financeira não é mais uma realidade, e os pescadores precisam buscar outras fontes de renda, e mesmo assim enfrentam dificuldades financeiras.

A restrição imposta pelo ICMBio, sobre a existência de casas de passeio e o turismo, proíbe que os habitantes busquem alternativas de sustento, como o turismo comunitário, que é uma alternativa sustentável. Isso torna-os economicamente dependentes das organizações que introduziram essa carga, dependentes de auxílios, de benefícios do governo (quando recebem), de caridade, entre outros.

A dependência do turismo na comunidade trata-se da função de caseiro, que é a realidade de muitos moradores, principalmente pescadores. Os patrões têm suas casas nas ilhas, e os caseiros se responsabilizam por manter a organização e limpeza do local, recebendo uma quantia por mês, o que lhes garante moradia, um salário fixo e uma segurança financeira. Alguns também têm acesso a energia e água tratada, pois a casa do qual cuidam possui esses "privilégios", que os demais moradores não têm.

Sendo assim, se lhes for tirado a opção do turismo, se as casas de passeio forem destruídas e eles não puderem mais trabalhar neste ramo, os agravantes na economia da comunidade serão muito maiores, causando um êxodo rural ainda maior, uma pobreza extrema e a qualidade de vida vai a declínio.

Esta dependência se traduz em dificuldades, como a escassez de energia elétrica, visto que apenas os que possuem boas

condições financeiras conseguem ter acesso (iniciativa privada); a ausência de peixes (fundamental para alimentação e subsistência), ausência de água tratada, de acesso à saúde e educação, e a limitação de outras necessidades básicas para uma comunidade autossustentável. A burocracia, em conjunto com a falta de políticas públicas adequadas, contribui para uma vulnerabilidade econômica, que obriga os moradores a recorrerem a estratégias alternativas para garantir sua subsistência, enfrentando desafios legais e comprometendo a qualidade de vida.

Canesso[817] avaliou, através de questionários com moradores, os impactos que a presença das hidrelétricas do Rio Paraná causou no rio e nos que vivem em seu entorno. Foram citados principalmente a mortalidade dos peixes, o desmatamento e a busca pelo turismo como forma complementar de renda.

Burocracia ➡ Saúde e Meio Ambiente (normativo)

A instalação da barragem hidrelétrica teve impactos significativos no ecossistema do rio. A inundação de uma área de aproximadamente 225 mil hectares destruiu importantes ecossistemas do Mato Grosso do Sul, varjões com características comparadas com o Pantanal em que habitavam espécies em extinção, como a onça-pintada e o nhambu-guaçu[818]. Esses dados comprovam o que fora citado em diversas entrevistas, que é o desaparecimento de diversas espécies antes comuns nas ilhas.

A instalação da barragem também interferiu no nível da água, que consequentemente afetou a variedade e quantidade de peixes, além do uso de produtos químicos para combater o mexilhão dourado que impactou a ictiofauna, aumentando ainda mais os desafios ambientais. Essas mudanças acarretaram não apenas a escassez de peixes, mas também dificuldades na travessia de barcos devido ao baixo volume de água.

O intuito inicial da barragem, como citou o jornalista Rogério Mascia Silveira[819] era de controlar os regimes de cheia e se-

[817] Canesso et al., 2009.
[818] Costa et al, 2018.
[819] Silveira, 2007.

ca, e dessa forma contribuir para a sociedade, evitando a falta de água nos períodos de seca e enchentes em períodos de fortes chuvas. Porém, através do relato dos entrevistados, essas atividades mais afetaram negativamente do que positivamente.

A presença do mexilhão-dourado, espécie invasora no Rio Paraná, tem impactado negativamente tanto o ecossistema do rio quanto as atividades da hidrelétrica. O crescimento acelerado dessa espécie, que fica incrustada nas turbinas, gera prejuízos altíssimos para a geração de energia. Dessa forma, algumas formas de controle dessa espécie invasora são realizadas, dentre elas, a utilização de compostos químicos que podem contaminar o rio e os peixes[820]. Porém, a morte dos peixes não está apenas relacionado a esses compostos químicos, visto que vários estudos apontam como principais causadores as novas instalações da hidrelétrica[821] e os regimes de vazão da água contida na barragem[822].

Além disso, a dependência da burocracia estatal para questões de saúde se evidencia na ausência de estruturas médicas locais, tornando vital a presença de agentes de saúde que atendam às necessidades específicas da comunidade.

Trabalho ⬅ Dependência Econômica (determinativo)

A relação entre trabalho e dependência econômica na comunidade é evidenciada nas entrevistas, revelando a transformação do trabalho, outrora uma vocação e serviço à família e à comunidade, em emprego para garantir a sobrevivência. A necessidade de buscar outras fontes de renda, como trabalhos temporários em fazendas, evidencia a instabilidade econômica. Além disso, a dependência do peixe como principal fonte de renda gera preocupação, pois a diminuição da população de peixes no rio compromete a subsistência.

A comunidade busca alternativas, como o turismo, para complementar a renda, mas enfrenta desafios impostos por ór-

[820] Gazeta do Povo, 2006.
[821] Jusbrasil, 2008.
[822] Lopes et al., 2021; Pamplona, 2021.

gãos ambientais (ICMBio). A busca por independência financeira é um direito justo, resultado do trabalho árduo dos habitantes, que enfrentam não apenas os desafios da natureza, mas também barreiras burocráticas que limitam suas opções de subsistência.

Trabalho ⇦➡ Educação (normativo e determinativo)

Na dinâmica entre trabalho e educação na comunidade, evidencia-se uma relação permeada por desafios. O trabalho, muitas vezes transformado em emprego assalariado, tornou-se uma necessidade para garantir a sobrevivência, desviando a atenção da busca por educação. A dependência econômica faz com que a vocação e serviço à comunidade cedam lugar à necessidade imediata de salários para a subsistência.
Contudo, alguns moradores buscam redefinir a educação como agente transformador, almejando capacitá-los para profissões locais, reconciliando as demandas práticas do trabalho e a educação, visando promover autonomia e sustentabilidade na comunidade, como destacou a missionária: “Porque a ideia também é que eles busquem cursos que eles consigam aplicar ali”. Esses esforços, contudo, enfrentam resistência de uma mentalidade utilitária que desvaloriza a educação em comparação com o trabalho. O desafio crucial reside em reconciliar essas esferas, reconhecendo a importância de ambas na construção de um futuro sustentável para a comunidade.

Dependência Econômica ⇦➡ Estrutura Social (normativo e determinativo)

Com base nos dados fornecidos sobre a relação entre Dependência Econômica e Estrutura Social, pode-se observar que a dependência econômica exerce um impacto negativo na estrutura social, resultando em um considerável êxodo rural. O desejo de buscar oportunidades de emprego e sustento em centros urbanos é evidenciado pelos testemunhos que destacam o afastamento dos filhos para estudar e trabalhar em cidades distantes. Esse fluxo migratório, predominantemente entre os

mais jovens, resulta não apenas em uma mudança geográfica, mas também transformando a comunidade em uma comunidade idosa, e isso compromete as perspectivas de um futuro produtivo e ativo para a comunidade.

Por outro lado, a estrutura social exerce um papel benéfico na mitigação da dependência econômica. A união na comunidade é evidente na forma como os moradores se ajudam mutuamente e minimiza a dependência econômica em diferentes aspectos, como na construção de casas, compartilhamento de recursos e cultivo de alimentos para consumo próprio.

3.3 Saúde e Meio Ambiente: Um Fator Fundamental para a Comunidade Local

Trabalho ⬅ Saúde e Meio Ambiente (determinativo)

A relação entre Trabalho, Saúde e Meio Ambiente evidencia a interconexão complexa desses fatores na vida dos ilhéus. A prática da pesca, crucial para a subsistência, enfrenta desafios devido às mudanças no ecossistema do rio. A abundância de peixes, que outrora sustentava comunidades, agora é limitada a um curto período de dois meses após a abertura da pesca, como relatou um pescador: "A renda é boa só no início, quando abre a pesca, aí pega bem. Aí depois de uns 2 meses já vai diminuindo, agora mesmo (outubro) não sai nada".

A diminuição drástica do volume da água a jusante, associada a atividades da barragem, resulta na escassez de peixes[823]. Diante desse cenário desafiador, muitos ilhéus buscam diversificar suas fontes de renda, envolvendo-se em atividades como a criação de galinhas e a produção de alimentos, no entanto, precisam enfrentar as restrições impostas pelo ICMBio com relação ao turismo, que proíbem esta busca por alternativas de sustento. A pesca, que antes possibilitava uma estabilidade financeira, enfrenta uma crise que interfere na subsistência e na qualidade de vida dos habitantes da ilha.

[823] Pamplona, 2021; Lopes et al., 2021.

Dependência Econômica ⬅ Saúde e Meio Ambiente (determinativo)

A relação entre dependência econômica, meio ambiente e saúde nas ilhas revela um ciclo que impacta negativamente a vida dos moradores. A dependência da pesca, antes uma fonte de sustento na região, tornou-se um desafio crescente devido à degradação ambiental.

A ausência de peixes no rio, uma realidade constante segundo relatos dos moradores, não apenas compromete a renda financeira da comunidade, como também leva a uma busca por alternativas de renda, como diárias em outras atividades, como uma forma de adaptação diante dessa crise.

O impacto ambiental causado pela industrialização, com a poluição da água e a introdução de substâncias nocivas, contribui diretamente para a deterioração do ecossistema fluvial. Os relatos sobre a água contaminada e a mudança na fauna aquática apontam para uma ameaça constante à saúde dos ilhéus, que, por vezes, são obrigados a buscar água fora da comunidade para evitar problemas de saúde.

A dificuldade em acessar atendimento médico emergencial devido à travessia do rio em condições desfavoráveis revela outra faceta desse problema. A saúde dos moradores é comprometida não apenas pela falta de recursos médicos, mas também pela logística desafiadora para obter assistência. A escassez de recursos financeiros, agravada pela crise na pesca, se torna um obstáculo adicional para o acesso à saúde adequada.

A dependência econômica das atividades locais, como a pesca, cria um ciclo vicioso, onde a degradação do meio ambiente prejudica a economia, e a economia debilitada não permite investimentos em práticas sustentáveis ou na melhoria da saúde e infraestrutura local. Este cenário ressalta a necessidade urgente de medidas integradas que abordem tanto as questões ambientais quanto as econômicas e de saúde.

Estrutura Social ⇨ Saúde e Meio Ambiente (normativo)

A interligação entre a estrutura social e a saúde ambiental é um fator crucial na vida dos habitantes das ilhas, refletindo em uma relação benéfica. A preocupação dos moradores em preservar o ambiente que os cerca é evidente em suas ações cotidianas e no modo como se relacionam com a natureza.

Harmonia com a Fauna Local: A comunidade expressa um compromisso notável com a fauna local, promovendo um ambiente onde animais como cotias e lagartos coexistem pacificamente. Essa harmonia reflete não apenas o respeito pela biodiversidade, mas também a satisfação dos habitantes em testemunhar o retorno de espécies antes ausentes.

Reflorestamento e Sucessão Vegetal: A chegada dos habitantes à ilha marcou um capítulo de reflorestamento, transformando áreas anteriormente dominadas por capoeira em espaços verdes e vibrantes. A comunidade não apenas plantou árvores, mas também se dedicou à preservação da vegetação, observando uma melhoria significativa na qualidade ambiental.

Métodos Sustentáveis da Permacultura: A liderança da igreja adotou práticas inovadoras, como a permacultura, para enfrentar desafios ambientais.

Qualidade de Vida e Meio Ambiente: A mudança de algumas pessoas de metrópoles para a ilha resultou não apenas em uma melhoria na qualidade de vida, mas também em benefícios à saúde. A conexão diária com a natureza, o ar fresco e a ausência do estresse urbano são fatores que contribuíram para melhorias na saúde física e mental dos moradores.

Consciência Ambiental e Legal: Os ilhéus demonstram uma compreensão clara das leis ambientais, reconhecendo a importância de preservar a margem do rio como uma área protegida. Além disso, a sugestão de proibir a pesca de certas espécies destaca o comprometimento com a conservação dos recursos naturais.

Reflexo na Economia Local: A diversificação do cultivo, incluindo frutas e plantações específicas para a fauna, não apenas contribui para a segurança alimentar local, mas também

atrai visitantes da cidade em busca de produtos mais acessíveis e naturais.

Reflexões sobre o Desenvolvimento Sustentável: A transformação das ilhas, impulsionada pela chegada da comunidade, é também um exemplo de desenvolvimento sustentável. A cooperação entre a estrutura social e a conscientização ambiental destaca a promissora aliança entre sociedade e meio ambiente.

Esses testemunhos da vida na ilha não apenas descrevem uma conexão profunda entre estrutura social e saúde ambiental, mas também ressaltam o papel ativo da comunidade na promoção de práticas sustentáveis.

3.4 Vínculos Benéficos sob Ameaça

Além dos vínculos apresentados abaixo, também se encontram entre os vínculos benéficos para a vida da comunidade os impactos exercidos pela "Educação" sobre o "Trabalho", pela "Estrutura Social" sobre a "Dependência Econômica" e pela "Estrutura Social" sobre a "Saúde e o Meio Ambiente", conforme apresentado nos parágrafos anteriores.

Estrutura Social ⇦ Fé Cristã (determinativo)

Na comunidade da ilha a presença da fé cristã revela-se como uma força moldadora da estrutura social e comunitária. As entrevistas mostram a vida dos ilhéus com a sua fé, evidenciando uma dinâmica que influencia a vida cotidiana.

A fé cristã, nesse contexto, não se restringe ao culto e às cerimônias religiosas; ela se manifesta de maneira prática e concreta na oferta de serviços essenciais à comunidade. A construção de fossas, mencionada em entrevistas, exemplifica como a igreja, por meio de suas ações práticas, não apenas fortalece laços sociais, mas também atua como uma força transformadora na resolução de problemas enfrentados pelos ilhéus.

A construção de vínculos, identificação de necessidades específicas e intervenções em momentos desafiadores são observáveis na atuação da igreja na ilha. Dessa forma, a fé cristã na ilha permeia e influência diretamente a estrutura social familiar

e comunitária. A igreja não só fortalece a coesão comunitária, mas também responde às necessidades práticas da população.

Educação ⇦ Fé Cristã (determinativo)

A relação entre Educação e Fé Cristã na ilha se destaca pela busca ativa de oportunidades educacionais, especialmente através da igreja local. Além de proporcionar acesso a cursos superiores, buscam aplicar esses conhecimentos na própria comunidade, evitando a necessidade de migração para áreas urbanas. A intenção é clara: os jovens, ao buscarem formação acadêmica, são incentivados a escolher cursos que possam ser diretamente aplicados na ilha. Nesse contexto, Educação e Fé Cristã se entrelaçam como catalisadores do crescimento integral, evidenciando a busca por uma educação que se volta para o benefício coletivo.

Devido às fortes influências prejudiciais enfrentadas pelos fatores que originam vínculos benéficos, essas relações estão agora sob uma ameaça significativa.

4. Considerações Finais

Este estudo possibilitou a criação de um modelo sistêmico multimodal que retrata a dinâmica da vida na comunidade ribeirinha do rio Paraná, destacando a relevância da incorporação de fatores relacionados à modalidade biótica para sustentar a viabilidade social.

Através da análise dos vínculos intermodais, constatou-se que a modalidade biótica, relacionada ao fator Saúde e Meio Ambiente, mantém conexões diretas e indiretas com as demais modalidades da comunidade. Nesse contexto, observa-se que esse fator é impactado negativamente pela burocracia, influenciada pela ética utilitária, e pelos grandes empreendimentos, os quais geram diversos impactos nos ecossistemas locais.

Consequentemente, essas perturbações ambientais repercutem negativamente no trabalho e na economia da comunidade, abalando também a estrutura social e a educação, e interferindo na saúde do desenvolvimento local.

Por outro lado, a fé cristã desempenha um papel positivo nesse sistema, exercendo influência direta sobre a educação e a estrutura social. Esses aspectos, por sua vez, impactam positivamente o trabalho, a economia e o meio ambiente. No entanto, devido à predominância dos vínculos malignos, que contam com retroalimentações fortalecedoras, o impacto benéfico ainda é frágil e está sujeito a grandes ameaças.

A conclusão a que se chega é que a restauração da normalidade do meio biótico poderia contribuir significativamente para a resolução das adversidades enfrentadas pela comunidade. No entanto, essa restauração está intrinsecamente ligada ao funcionamento sustentável dos demais fatores que afetam a sustentabilidade local.

A aplicação do PSMM, no entanto, não se restringe à realização de um diagnóstico por meio da identificação de fatores e de seus vínculos, essa etapa é apenas o início para que o método possa ser implantado e gerar mudanças significativas na comunidade em questão. Dessa maneira, o presente projeto será continuado em uma segunda etapa que compreenderá a busca de um modelo de atuação na comunidade, para que os impactos negativos entre os fatores possam ser reduzidos e os impactos positivos acentuados.

5. Agradecimentos

Agradeço a Deus, por me apresentar essa comunidade e me comissionar a iniciar um projeto tão especial lá. Agradeço aos meus orientadores Breno e Ester, por terem me orientado voluntariamente, cedendo horas de seus dias para me ensinar e aprimorar o trabalho. Agradeço ao Bruno e a Camila por cederem sua casa e o barco para realizar as entrevistas nas ilhas, e por terem abraçado o projeto e possibilitado a realização da pesquisa. Agradeço aos meus pais Loris e Celi por me apoiarem e suportarem nesse tempo de pesquisa e escrita do manuscrito. Agradeço aos meus pastores por me incentivarem a seguir meus sonhos e dar o meu melhor no meio acadêmico.

Agradeço ao Pedro, pelo apoio emocional e por ter me ajudado diversas vezes nas transcrições e análises das entrevistas.