

**APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE CICLO DE VIDA COMO FERRAMENTA DE
AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DAS ATIVIDADES MINERADORAS
REVISÃO DE LITERATURA**

**APPLICATION OF LIFE CYCLE ASSESSMENT AS A TOOL FOR
EVALUATING THE SUSTAINABILITY OF MINING ACTIVITIES: A
LITERATURE REVIEW**

Gesiel Ferreira de Souza¹

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Unidade de Ensino Superior de Feira de Santana (UNEF),
Feira de Santana, Bahia, Email: gesiel428@gmail.com

RESUMO

Introdução: A gestão responsável e sustentável das atividades mineradoras é essencial para mitigar os impactos ambientais e sociais. A Análise de Ciclo de Vida (ACV) tem se destacado como uma ferramenta relevante para avaliar a sustentabilidade no contexto do fechamento de minas. **Objetivo:** Analisar a aplicação da ACV como ferramenta de gestão sustentável durante o fechamento de minas, considerando a atualização da regulamentação pela Resolução ANM Nº 68 de 2021. **Metodologia:** Trata-se de uma revisão de literatura focada na aplicação da ACV em processos de fechamento de minas, com ênfase na minimização de impactos e na promoção do uso sustentável das áreas desativadas. **Resultados e Discussão:** A revisão revelou que a ACV é uma ferramenta promissora, mas ainda subutilizada no contexto de fechamento de minas. A regulamentação recente exige um planejamento cuidadoso das etapas de desativação e pós-fechamento, além da integração de perspectivas sociais e ambientais. A participação da comunidade local também é fundamental para garantir uma transição sustentável. **Conclusão:** A aplicação da ACV no fechamento de minas oferece oportunidades para reduzir os impactos ambientais e promover o uso sustentável das áreas desativadas. A adoção dessa ferramenta pode se tornar essencial para o setor minerador se adaptar às regulamentações e práticas de sustentabilidade exigidas.

Palavras-chave: Análise de Ciclo de Vida, Fechamento de Minas, Sustentabilidade, Impacto Ambiental, Gestão Mineradora

ABSTRACT

Introduction: Responsible and sustainable management of mining activities is essential to mitigate environmental and social impacts. Life Cycle Analysis (LCA) stands out as a relevant tool to assess sustainability in the context of mine closure.

Objective: To analyze the application of LCA as a sustainable management tool during mine closure, considering the update of regulations by ANM Resolution No. 68 of 2021. **Methodology:** This is a literature review focused on the application of LCA in mine closure processes, with an emphasis on minimizing impacts and promoting the sustainable use of deactivated areas. **Results and Discussion:** The review revealed that LCA is a promising but still underutilized tool in the context of mine closure. Recent regulations require careful planning of decommissioning and post-closure stages, as well as the integration of social and environmental perspectives. Community involvement is also essential to ensure a sustainable transition. **Conclusion:** Applying LCA in mine closure offers opportunities to reduce environmental impacts and promote the sustainable use of deactivated areas. The adoption of this tool can become essential for the mining sector to adapt to the required regulations and sustainability practices.

Keywords: Life Cycle Analysis, Mine Closure, Sustainability, Environmental Impact, Mining Management

INTRODUÇÃO

A gestão responsável e sustentável das atividades mineradoras é essencial para minimizar os impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade. Para isso, é importante ter regulamentações e diretrizes que orientem o fechamento das minas, promovendo práticas seguras e conscientes na indústria extrativista. A Norma Reguladora de Mineração (NRM) 20, emitida pela Agência Nacional de Mineração (ANM) em 2001, foi um marco importante ao estabelecer diretrizes para o fechamento de minas. No entanto, em 2021, a Resolução ANM N° 68 veio para atualizar e aprimorar essas diretrizes, revogando partes da regulamentação anterior e fornecendo novas orientações específicas sobre o Plano de Fechamento de Mina (PFM).

A desativação da mina envolve várias etapas, como descomissionamento, fechamento, vistoria por órgãos ambientais e da ANM, gestão de ativos e passivos, e a fase pós-fechamento. Cada uma dessas etapas requer planejamento cuidadoso e monitoramento contínuo para garantir a segurança, a integridade ambiental e o bem estar das comunidades locais.

Um aspecto fundamental do processo de fechamento de mina é a participação da população e das entidades locais. Neste artigo, discutiremos a importância da regulamentação do fechamento de minas, destacando as principais diretrizes estabelecidas pela Resolução ANM N° 68 e explorando os desafios e oportunidades

associados à implementação dessas medidas para promover o desenvolvimento sustentável nas atividades mineradoras.

METODOLOGIA

Este estudo foi conduzido através de uma revisão de literatura com o objetivo de explorar a aplicação da Análise de Ciclo de Vida como ferramenta para avaliar a sustentabilidade das atividades mineradoras, especificamente no contexto do fechamento de minas. A revisão de literatura é uma metodologia essencial para compilar e sintetizar o conhecimento existente sobre um tema específico, permitindo identificar lacunas, tendências e oportunidades de pesquisa futuras (Kitchenham, 2004). Assim, foram seguidos os seguintes procedimentos de Revisão

1. Definição da Questão de Pesquisa: A questão central deste estudo foi: "Como a ACV pode ser aplicada de forma eficaz no fechamento de minas para promover a sustentabilidade?"
2. Seleção das Bases de Dados: As bases de dados utilizadas incluíram SciELO, BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações), Google Scholar e ScienceDirect.
3. Critérios de Inclusão e Exclusão: Os critérios de inclusão envolveram artigos publicados entre 2000 e 2023, em português e inglês, que abordassem a ACV e o fechamento de minas. Foram excluídos estudos que não apresentavam metodologias claras ou que não eram revisados por pares.
4. Coleta de Dados: A busca foi realizada utilizando palavras-chave como "Análise de Ciclo de Vida", "fechamento de minas", "sustentabilidade na mineração" e "impacto ambiental".
5. Análise e Síntese dos Dados: Os dados foram analisados qualitativamente, focando nos principais temas e resultados apresentados nos estudos selecionados.

REFERENCIAL TEÓRICO

A Análise de Ciclo de Vida é uma metodologia consolidada para avaliar os impactos ambientais de produtos e processos ao longo de todo o seu ciclo de vida (ISO 14040, 2006). Os recursos minerais são limitados e não podem ser renovados, e a mineração, por sua natureza, é uma atividade temporária, restrita à duração da jazida mineral. Por essa razão, utiliza-se o conceito de Ciclo de Vida da Mina Fechamento de Minas

O planejamento do fechamento de uma mina, seja para um novo projeto ainda em elaboração, seja de uma mina já em funcionamento, é tema cada vez mais presente na pauta de discussão das empresas de mineração, dos órgãos reguladores e do meio acadêmico. As questões atinentes ao fechamento de uma mina estão diretamente relacionadas à sustentabilidade de uma atividade essencial à sociedade contemporânea (Sánchez, et al.,2013)

Aplicar a Análise de Ciclo de vida no contexto do fechamento de minas envolve uma avaliação abrangente que considera as etapas de descomissionamento, fechamento, gestão de ativos e passivos, e a fase pós-fechamento (Schneider et al., 2013).

O planejamento do fechamento de uma mina é um tema de crescente relevância no setor de mineração, envolvendo empresas, órgãos reguladores e o meio acadêmico. Este planejamento é crucial tanto para novos projetos quanto para minas em operação, refletindo uma preocupação com a sustentabilidade de uma atividade vital para a sociedade.

As questões relacionadas ao fechamento incluem a recuperação ambiental, a reintegração do terreno ao ecossistema e a mitigação dos impactos sociais e econômicos para as comunidades locais. A integração dessas práticas de fechamento é essencial para garantir que a mineração, apesar de sua natureza extrativa, possa ser conduzida de maneira responsável e sustentável. Assim, a elaboração de um plano de fechamento eficaz não só atende às exigências regulatórias, mas também contribui para a preservação do meio ambiente e o bem-estar das comunidades, promovendo uma abordagem mais ética e responsável

na exploração de recursos naturais.

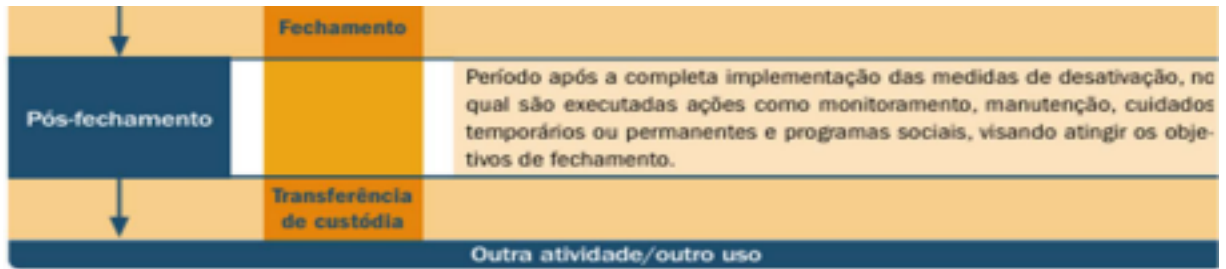
A Figura 1 apresenta diferentes sequências que foram observadas em algumas minas. No lado esquerdo, está representado o cenário padrão, aqui chamado de fechamento programado, onde a mina opera continuamente conforme o plano de lavra, que é atualizado conforme necessário.

Segundo Sánchez et al. (2013), um planejamento eficaz de fechamento de minas deve considerar as condições ambientais e sociais locais, visando minimizar os impactos negativos e maximizar os benefícios para as comunidades afetadas.

Um fechamento de minas bem planejado deve considerar as condições ambientais e sociais da região. Isso ajuda a reduzir os impactos negativos, como danos ao meio ambiente e desemprego, e a aumentar os benefícios para as comunidades locais. Assim, promove-se um desenvolvimento sustentável, garantindo que a transição após o fechamento seja equilibrada e vantajosa para todos.

Figura 1: Etapas do ciclo de vida de uma mina.

ETAPAS DA VIDA DA MINA	MARCOS	DESCRIÇÃO DAS ETAPAS
Estudo de viabilidade		Inclui a exploração, estudos de previabilidade, desenvolvimento de rotas de processo e estudos de viabilidade técnica, econômica e socioambiental. A exploração tem como objetivo descrever qualitativa e quantitativamente o depósito mineral. O estudo de viabilidade é conduzido para determinar o potencial do desenvolvimento do depósito mineral e a escala de produção.
↓	Início da implantação	
Implantação		Esta etapa se refere às atividades de construção e de preparação da mina e da infraestrutura necessária, inclui a aquisição de terras e a execução de programas compensatórios.
↓	Início da produção	
Operação		Designa a etapa da produção, podendo contemplar expansões, mudanças de processo, novas atividades de pesquisa mineral e a gestão do empreendimento.
↓	Encerramento da produção	
Desativação		Período que tem início pouco antes do término da produção mineral (encerramento) e se conclui com a remoção de todas as instalações desnecessárias e a implantação de medidas que garantam a segurança e a estabilidade da área, incluindo a recuperação ambiental e programas sociais.



Fonte: IBRAM - Instituto Brasileiro de Mineração – 2017.

Dessa forma, a análise da figura evidencia que o fechamento de minas é uma etapa crítica no ciclo de vida da mineração.

Sustentabilidade na Mineração

A sustentabilidade na mineração envolve práticas que buscam equilibrar as necessidades econômicas, sociais e ambientais. Com a crescente demanda por recursos minerais, é crucial adotar abordagens que minimizem os impactos negativos ao meio ambiente e promovam o desenvolvimento sustentável. A análise de ciclo de vida surge como uma ferramenta essencial para avaliar os impactos ambientais associados a todas as etapas do ciclo de vida de um produto, desde a extração de matérias-primas até o descarte final.

A mineração é uma atividade econômica vital, mas que tradicionalmente causa significativos impactos ambientais. A sustentabilidade na mineração requer uma abordagem holística que considere não apenas a viabilidade econômica, mas também os impactos sociais e ambientais das operações mineiras. Neste contexto, a análise de ciclo de vida emerge como uma metodologia poderosa para avaliar e mitigar os impactos ambientais ao longo de toda a cadeia de valor.

Essa metodologia é uma técnica sistemática que avalia os aspectos ambientais e os potenciais impactos associados a um produto, processo ou serviço ao longo de seu ciclo de vida. Esta análise inclui a extração de matérias-primas, fabricação, distribuição, uso e disposição final (Guinée et al., 2011). Na mineração, a ACV pode ser utilizada para identificar as fases do processo com maior impacto ambiental e propor melhorias. Estudos mostram que a fase de extração geralmente tem os maiores impactos devido ao consumo de energia e à geração de resíduos (Durucan et al., 2006).

A aplicação da ferramenta permite a identificação de oportunidades para redução de impactos ambientais, como a diminuição do consumo de energia e água, e a gestão eficiente de resíduos. Além disso, a ACV pode apoiar a tomada de decisões estratégicas e a implementação de práticas de mineração mais sustentáveis (Norgate & Haque, 2010). Estudos de caso de mineradoras que implementaram a ACV em suas operações demonstram reduções significativas em suas pegadas ambientais. Por exemplo, a utilização de tecnologias mais eficientes e processos de reciclagem de resíduos resultaram em uma diminuição de emissões de CO₂ e no consumo de recursos naturais (Stewart & Petrie, 2006).

Embora a ACV seja uma ferramenta valiosa, sua aplicação na mineração enfrenta desafios, como a complexidade dos processos mineiros e a variabilidade das condições ambientais. Além disso, a coleta de dados precisos e abrangentes pode ser difícil, exigindo esforços colaborativos entre diversas partes interessadas (Rebitzer et al., 2004). A integração da ACV com outras abordagens de sustentabilidade, como a economia circular e a inovação tecnológica, promete avanços significativos na minimização dos impactos ambientais da mineração. A pesquisa contínua e a implementação de políticas robustas são essenciais para promover uma indústria mineradora mais sustentável (Mudd, 2010).

Em conclusão, a sustentabilidade na mineração é um objetivo alcançável através da adoção de práticas que considerem o equilíbrio entre necessidades econômicas, sociais e ambientais. A análise de ciclo de vida fornece uma abordagem abrangente para avaliar e mitigar os impactos ambientais da mineração, promovendo práticas mais responsáveis e sustentáveis.

RESULTADOS

A revisão de literatura revelou que a Análise do Ciclo de vida é uma ferramenta promissora para o fechamento de minas, mas ainda subutilizada neste contexto. Estudos como o de Neri et al. (2017) demonstram que a aplicação da ferramenta de Análise do ciclo de vida pode identificar oportunidades para reduzir os impactos ambientais e promover o uso sustentável das áreas desativadas.

Felizmente o aproveitamento sustentável de áreas está se difundindo no

mundo todo, Brasil existem alguns casos de uso sustentável de áreas desativadas, como o Parque das Mangabeiras, Localizado em Belo Horizonte, na Serra do Curral, que hoje é considerada patrimônio cultural de Belo Horizonte. Segundo o site Saga² Consultoria, acessado em 07/06/2024, a área era explorada pela empresa Ferro Belo Horizonte S/A, para exploração de minério de ferro e atualmente, o Parque conta como atividades como trilhas, mirantes e até um Centro de Educação Ambiental (CEAM).

Outro exemplo é a Pedreira Paulo Leminski, que hoje é um local destinado a shows ao ar livre, localizado na cidade de Curitiba, foi inaugurado em 1990. O espaço possui uma área com pouco mais de 100 mil metros quadrados, considerado o maior palco fixo a céu aberto da América Latina. Anteriormente, o local abrigava uma pedreira municipal e uma usina de asfalto. Ambos os exemplos estão representados respectivamente nas figuras 2 e 3.

Figura 2. Parque das Mangabeiras em Belo Horizonte – MG.



Fonte: Saga Consultoria 2021 .

²<https://sagaconsultoria.com/3-cases-de-sucesso-de-fechamento-de-mina/>

Figura 3. Palco da Pedreira Paulo Leminski, exemplo de fechamento de mina no



Fonte: Saga Consultoria 2021

A utilização da Análise do Ciclo de Vida revela-se uma ferramenta valiosa e promissora para o fechamento de minas, destacando-se por sua capacidade de identificar oportunidades para a mitigação de impactos ambientais e a promoção do uso sustentável de áreas desativadas. Exemplos inspiradores no Brasil, como o Parque das Mangabeiras e a Pedreira Paulo Leminski, demonstram o potencial transformador dessas iniciativas, convertendo áreas antes exploradas em espaços de grande valor cultural, ambiental e social. Com a aplicação ampliada dessa metodologia, podemos vislumbrar um futuro em que o fechamento de minas seja sinônimo de regeneração ambiental e desenvolvimento sustentável, beneficiando

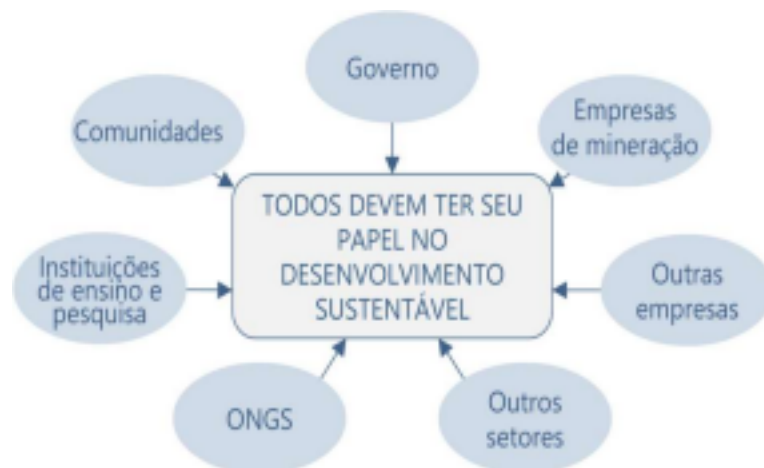
comunidades e preservando o patrimônio natura

Impactos Ambientais e Sociais

Os resultados indicam que a Análise do Ciclo de vida pode auxiliar na identificação de impactos significativos ao longo das diferentes etapas do fechamento de minas, incluindo a gestão de resíduos e a recuperação ambiental (Van Zyl et al., 2012).

Os papéis dos envolvidos na busca pelo Desenvolvimento Sustentável da região onde a mineração ocorre variam conforme as circunstâncias locais e podem se modificar ao longo do Ciclo de Vida da Mina, bem como durante o processo de crescimento e desenvolvimento da área (ICMM 2012). Embora cada parte tenha sua função específica, é essencial integrar as ações e compartilhar responsabilidades para alcançar metas comuns. Nesse contexto, é crucial que os papéis e responsabilidades de governo, empresas, ONGs, comunidades e outros atores estejam claramente definidos. Na figura 4 são evidenciados os colaboradores ativos para o DS do território minerador.

Figura 4. Os colaboradores ativos para o DS do território minerador.



Fonte: ICMM (2012)

DISCUSSÃO

A discussão foca nos desafios e oportunidades associados à aplicação da ACV no fechamento de minas. Um dos principais desafios identificados é a falta de dados específicos e a necessidade de adaptações metodológicas para o contexto de fechamento de minas. Fica evidenciado que há a necessidade de adaptar as metodologias para serem relevantes e eficazes no contexto específico do fechamento de minas. Estas adaptações são cruciais para garantir que a análise possa fornecer insights úteis e direcionar práticas sustentáveis e responsáveis na indústria de mineração.

Desafios

Dados Incompletos: Um dos principais desafios na aplicação da avaliação de ciclo de vida nas atividades mineradoras é a falta de dados completos e confiáveis. Muitas vezes, as informações necessárias para uma análise completa não estão disponíveis, o que pode comprometer a precisão dos resultados. Essa escassez de dados pode ser atribuída a vários fatores, incluindo a falta de transparência por parte das empresas mineradoras, dificuldades na coleta de dados em áreas remotas e a complexidade intrínseca dos processos de mineração (Finnveden et al., 2009). Por exemplo, detalhes sobre o consumo de energia, emissões de poluentes e uso de recursos naturais nem sempre são devidamente registrados ou divulgados, dificultando uma avaliação precisa e abrangente.

Complexidade Metodológica: Adaptar a avaliação de ciclo de vida para o fechamento de minas é outro desafio significativo, pois requer uma abordagem multidisciplinar e integrada. Isso envolve não apenas aspectos técnicos, mas também considerações econômicas e sociais. A metodologia precisa ser ajustada para lidar com a complexidade das atividades de fechamento de minas, que podem incluir a reabilitação de áreas degradadas, o tratamento de resíduos e a gestão de impactos ambientais a longo prazo (Guinée et al., 2011). A integração dessas diversas áreas de conhecimento exige uma coordenação eficiente e uma compreensão abrangente dos múltiplos impactos associados às operações de mineração.

Falta de Padrões e Diretrizes: A ausência de padrões e diretrizes uniformes

para a aplicação da avaliação de ciclo de vida na mineração também representa um obstáculo. Sem um framework claro e consistente, diferentes estudos podem adotar abordagens variadas, levando a resultados que não são diretamente comparáveis. Essa falta de padronização dificulta a avaliação da sustentabilidade em escala global e impede a formulação de políticas e regulamentos eficazes (Bare et al., 2006).

Custos Elevados: A realização de uma avaliação de ciclo de vida completa pode ser um processo caro e demorado. Os custos associados à coleta de dados, análise e interpretação podem ser significativos, especialmente para pequenas e médias empresas mineradoras. Além disso, a necessidade de tecnologias avançadas e mão-de-obra especializada pode aumentar ainda mais os custos (Goedkoop et al., 2009). Esses fatores podem desencorajar empresas de investir em análises detalhadas, comprometendo a avaliação da sustentabilidade.

Incertezas nos Resultados: As incertezas nos resultados da avaliação de ciclo de vida são outro desafio importante. A precisão dos dados de entrada, as suposições feitas durante a análise e a variabilidade inerente aos processos de mineração podem introduzir incertezas significativas nos resultados finais. Essas incertezas precisam ser devidamente reconhecidas e comunicadas para garantir que as conclusões sejam interpretadas corretamente (Huijbregts et al., 2003).

Barreiras Tecnológicas: A aplicação eficaz da avaliação de ciclo de vida na mineração também enfrenta barreiras tecnológicas. A necessidade de tecnologias avançadas para a coleta e análise de dados, bem como para a implementação de práticas de mineração sustentáveis, pode ser uma barreira significativa. Muitas empresas podem não ter acesso a essas tecnologias ou não estar dispostas a investir nelas devido a custos elevados ou falta de conhecimento (Rebitzer et al., 2004).

Exigências Regulamentares: Finalmente, as exigências regulamentares podem complicar a aplicação da avaliação de ciclo de vida. As leis e regulamentos variam significativamente entre diferentes países e regiões, criando um ambiente complexo e desafiador para a implementação de práticas de sustentabilidade baseadas nessa metodologia. As empresas precisam navegar por esse labirinto regulatório, o que pode exigir recursos adicionais e aumentar a complexidade do

processo (Hellweg e Milà i Canals, 2014).

Integração de Impactos Sociais: A integração de impactos sociais na avaliação de ciclo de vida é uma área emergente e ainda em desenvolvimento. Tradicionalmente, essas avaliações têm se concentrado em impactos ambientais, mas para uma avaliação completa da sustentabilidade, é crucial considerar também os aspectos sociais. Isso inclui a avaliação de impactos sobre as comunidades locais, condições de trabalho e direitos humanos. A incorporação desses fatores sociais é desafiadora devido à dificuldade de quantificar impactos sociais e à falta de metodologias estabelecidas (Jørgensen et al., 2008).

No entanto em cada fase do Ciclo de Vida da Mina (ou do empreendimento), é possível planejar e realizar as atividades típicas de mineração, juntamente com o desenvolvimento de ações, atividades e estudos de caráter social e ambiental. Na figura 5 descrevemos o Ciclo de Vida da Mina e atividades socioambientais.

Figura 5. Ciclo de Vida da Mina e atividades socioambientais.



Fonte: Adaptado de Spitz & Trudinger (2008).

Em resumo, a aplicação da avaliação de ciclo de vida como ferramenta de

avaliação da sustentabilidade das atividades mineradoras enfrenta diversos desafios, desde a falta de dados completos até a complexidade metodológica e barreiras tecnológicas. Superar esses desafios é crucial para garantir que a mineração possa ser realizada de maneira mais sustentável, minimizando impactos ambientais e sociais negativos.

Oportunidades

Melhoria Contínua: A aplicação da ACV pode incentivar a melhoria contínua das práticas de fechamento de minas, promovendo a inovação e a sustentabilidade (Jasch, 2003). Neste contexto entende-se que a aplicação da ferramenta permite uma análise abrangente dos impactos ambientais associados as etapas do ciclo de vida de uma mina, desde a exploração até o fechamento e reabilitação do local, as práticas de fechamento de minas podem ser continuamente avaliadas e aprimoradas, incentivando a inovação e promovendo a sustentabilidade tornando-se um catalisador para práticas mais sustentáveis e inovadoras no setor de mineração.

Engajamento Comunitário: A participação ativa das comunidades locais pode ser facilitada através da ACV, proporcionando uma plataforma para o diálogo e a cooperação (Franks et al., 2010). O engajamento Comunitário, facilitado pela Avaliação de Ciclo de Vida, promove diálogo e cooperação entre comunidades locais e stakeholders. A abordagem ajuda as comunidades a compreenderem melhor os impactos dos projetos, resultando em participação mais informada e ativa

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre a aplicação da aplicação da análise de ciclo de vida no fechamento de minas, destacando seus benefícios e desafios. Essa técnica se mostrou uma ferramenta valiosa para avaliar e otimizar a sustentabilidade das atividades de fechamento de minas, promovendo práticas mais responsáveis e sustentáveis. A Análise de Ciclo de Vida emerge como uma ferramenta crucial para a avaliação e promoção da sustentabilidade nas atividades mineradoras. Ao aplicar o método, é possível realizar uma análise abrangente dos impactos ambientais, sociais e econômicos em todas as etapas do

ciclo de vida da mineração, desde a desativação até a gestão pós-fechamento. Essa abordagem permite identificar oportunidades para reduzir impactos negativos, otimizar processos e promover o uso sustentável das áreas desativadas.

A aplicação da ACV no fechamento de minas é ainda subutilizada, mas os estudos revisados demonstram seu potencial significativo para melhorar as práticas de sustentabilidade. Exemplos bem-sucedidos, como o Parque das Mangabeiras e a Pedreira Paulo Leminski, evidenciam como áreas anteriormente mineradas podem ser transformadas em espaços que beneficiam as comunidades locais e o meio ambiente.

Desafios persistem, como a disponibilidade de dados específicos e a necessidade de adaptação metodológica. No entanto, esses obstáculos podem ser superados com o desenvolvimento de políticas públicas que incentivem seu uso, além de capacitação e treinamento de profissionais na indústria mineradora.

A participação ativa das comunidades locais e de outras partes interessadas é essencial para o sucesso do fechamento de minas sustentáveis. A ACV pode facilitar esse engajamento, proporcionando uma plataforma para diálogo e cooperação, integrando perspectivas sociais e ambientais na tomada de decisão.

Concluimos que a Análise de Ciclo de Vida não apenas melhora a gestão ambiental das minas, mas também contribui para o desenvolvimento socioeconômico das regiões afetadas, promovendo um futuro mais sustentável e responsável na indústria de mineração.

Recomendações

Antes de apresentar as recomendações, é importante entender que a Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta fundamental para a sustentabilidade na mineração. Capacitar os profissionais dessa indústria na metodologia e suas aplicações práticas, pode promover operações mais eficientes e sustentáveis, reduzindo o impacto ambiental e aumentando a competitividade.

Recomendações futuras incluem a criação de diretrizes claras para a implementação da ACV, incentivo à pesquisa contínua para adaptar a ferramenta a diferentes contextos de mineração e a promoção de políticas públicas que suportem

práticas de fechamento de minas sustentáveis.

Capacitação e Treinamento: É essencial capacitar profissionais da indústria mineradora sobre as metodologias de ACV e suas aplicações práticas. Pesquisa

Futura: Estudos futuros devem focar na adaptação da ACV para diferentes tipos de mineração e em contextos específicos.

Estas recomendações são cruciais para garantir que a indústria mineradora continue evoluindo em direção a práticas mais sustentáveis e adaptadas às suas variadas necessidades e desafios.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

BARE, J., PENNINGTON, D., & Udo de Haes, H. Life cycle impact assessment sophistication. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(1), 2006, 67- 78,

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Mineração. Resolução ANM Nº 68, De 30 De Abril De 2021. Disponível em <
https://anmlegis.datalegis.net/action/UrlPublicasAction.php?acao=abrirAtoPublico&num_ato=00000068&sgl_tipo=RES&sgl_orgao=ANM/MME&vlr_ano=2021&seq_ato=000&cod_tipo=&des_item=&des_item_fim=&num_linha=>. Acesso em: 10 mai. 2024.

DURUCAN, S., KORRE, A. e MUNOZ-MELENDZ, G. Modelagem do ciclo de vida da mineração: uma abordagem do berço ao portão para a gestão ambiental na indústria mineral. *Revista de Produção Mais Limpa*, 14(12-13), 2006.

FINNVEDEN, G., HAUSCHILD, M. Z., EKVALL, T., GUINEE, J., HEIJUNGS, R., HELLWEG, S., ... & Suh, S. Recent developments in Life Cycle Assessment. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 2009, 1-21.

FRANKS, D.M., BRERETON, D., MORAN, C.J. Gerenciamento dos impactos cumulativos do desenvolvimento de recursos em comunidades e ambientes regionais na Austrália. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 2010, 28(4), 299-312.

GOEDKOOP, M., HEIJUNGS, R., HUIJBREGTS, M., DE SCHRYVER, A., STRUIJS, J., & VAN ZELM, R. ReCiPe 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition report I: Characterisation, 2009.

GUINÉE, J. B., HEIJUNGS, R., HUPPES, G., ZAMAGNI, A., MASONI, P., BUONAMICI, R., ... & RYDBERG, T. Life Cycle Assessment: Past, present, and future. *Environmental Science & Technology*, 45(1), 90-96, 2011.

GUINÉE, J.B., HEIJUNGS, R., HUPPES, G., et al. Avaliação do ciclo de vida: passado, presente e futuro. *Environmental Science & Technology*, 45(1), 2011, 90-96.

GUINÉE, JB, HEIJUNGS, R., HUPPES, G., ZAMAGNI, A., MASONI, P., BUONAMICI, R., EKVALL, T., & Rydberg, T. Avaliação do ciclo de vida: passado, presente e futuro. *Ciência e Tecnologia Ambiental*, 1-17,2011.

HELLWEG, S., & MILÀ i CANALS, L. Emerging approaches, challenges and opportunities in life cycle assessment. *Science*, 344(6188), 2014, 1109-1113.

HUIJBREGTS, M. A., HELLWEG, S., FRISCHKNECHT, R., HENDRIKS, H. W., HUNGERBÜHLER, K., & HENDRIKS, A. J. Cumulative energy demand as predictor for the environmental burden of commodity production. *Environmental Science & Technology*, 44(6), 2003, 2189-2196.

ICMM – International Council on Mining and Metals. 2012. Community development: toolkit. London, UK, ICMM, 221 p. ISBN: 9780955998386

ISO 14040 (2006). Gestão ambiental — Avaliação do ciclo de vida — Princípios e estrutura. Organização Internacional de Normalização.

JASCH, C. O uso da Contabilidade de Gestão Ambiental (EMA) para identificar custos ambientais. *Journal of Cleaner Production*, 2003. 11(6), 667-676.

JØRGENSEN, A., LE BOCQ, A., NAZARKINA, L., & HAUSCHILD, M. Methodologies for social life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(2), 2008, 96-103.

KITCHENHAM, B. Procedimentos para realizar revisões sistemáticas. Keele University, 2004.

LAURENCE, D. Estabelecendo uma operação de mineração sustentável: Uma visão geral. *Journal of Cleaner Production*, 19(2-3), 2011. 278-284.

Lippiatt, B.C. Selecionando produtos de construção verde e econômicos: abordagem BEES. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1999. 125(6), 448-455.

MORRISON-SAUNDERS, A., Arts, J. Avaliando Impacto: Manual de Acompanhamento de EIA e SEA. Earthscan, 2004.

MUDD, GM A sustentabilidade ambiental da mineração na Austrália: principais megatendências e restrições iminentes. *Política de Recursos*, 35(2), 2010, 98-115. 4.

NERI, A.C., SILVA-SÁNCHEZ, S.S., Sánchez, L.E. O Uso da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para avaliar o Desempenho Ambiental de Projetos de Mineração. *Journal of Environmental Management*, 195, 2017. 134-146.

NORGATE, T. e HAQUE, N. Impactos energéticos e de gases de efeito estufa das operações de mineração e processamento mineral. *Jornal de Produção Mais Limpa*, 18(3), 2010, 66-274.

REBITZER, G., EKVALL, T., FRISCHKNECHT, R., HUNKELER, D., NORRIS, G., RYDBERG, T., SCHMIDT, W.-P., SUH, S., WEIDEMA, BP, & PENNINGTON, DW Avaliação do ciclo de vida: Parte 1: Estrutura, definição de objetivo e escopo, análise de inventário e aplicações. Meio Ambiente Internacional, 30(5), 2004, 701.

REBITZER, G., EKVALL, T., FRISCHKNECHT, R., HUNKELER, D., NORRIS, G., RYDBERG, T., ... & PENNINGTON, D. W. Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment International, 30(5), 2004, 701-720.

SANCHES, L. E. Guia para o Planejamento do Fechamento de Mina. Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), 2013.

SCHNEIDER, L., SCHAU, E.M., FINKBEINER, M. Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida: Uma estrutura conceitual e estudo de caso para analisar os impactos ambientais de minas fechadas. Journal of Cleaner Production, 56, 2013. 33-42.

SPITZ K.; TRUDINGER J.. Mining and the environment: from ore to metal. London, UK, CRC Press, 900 p., 2008. ISBN: 9780415465106

STEWART, M. e PETRIE, J. Uma abordagem de sistemas de processo para inventários do ciclo de vida de minerais: estudos de caso sul-africanos e australianos. Jornal de Produção Mais Limpa, 2006.

VAN Zyl, D., SASSOON, M., DIGBY, C., et al. Mineração para o Futuro: Avaliando e gerenciando os impactos da mineração no meio ambiente e nas comunidades locais. Conselho Internacional de Mineração e Metais, 2012.