



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS DA ESCOLA DE MINAS



PEDRO BARROS DA SILVA DIAS

**AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM
MODELO CIRCULAR DE ECONOMIA NA
INDÚSTRIA MINERADORA ATRAVÉS DE UMA
ANÁLISE SWOT.**

Ouro Preto, 2021

PEDRO BARROS DA SILVA DIAS

AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM
MODELO CIRCULAR DE ECONOMIA NA
INDÚSTRIA MINERADORA ATRAVÉS DE UMA
ANÁLISE SWOT.

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda

Ouro Preto, 2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

D541a Dias, Pedro Barros da Silva.
Avaliação da implementação de um modelo circular de economia na indústria mineradora através de uma análise SWOT. [manuscrito] / Pedro Barros da Silva Dias. - 2021.
54 f.: il.: color..

Orientador: Prof. Dr. José Fernando Miranda.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Economia mineral. 2. Meio ambiente - Minas e mineração. 3. Desenvolvimento sustentável. 4. Planejamento estratégico - Análise SWOT. I. Miranda, José Fernando. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.013:65.012.2

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte e quatro dias do mês de junho de 2021, às 13h30min, foi instalada a sessão pública remota para a defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do discente **Pedro Barros da Silva Dias**, intitulado: **AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DE UM MODELO CIRCULAR DE ECONOMIA NA INDÚSTRIA MINERADORA ATRAVÉS DE UMA ANÁLISE SWOT**, perante comissão avaliadora constituída pelo orientador do trabalho, Prof. Dr. José Fernando Miranda, Prof. Dr. Adilson Curi e Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza. A sessão foi realizada com a participação de todos os membros por meio de videoconferência, com base no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de TCC. Inicialmente, o presidente da comissão examinadora concedeu ao discente 20 (vinte) minutos para apresentação do seu trabalho. Terminada a exposição, o presidente concedeu, a cada membro, um tempo máximo de 20 (vinte) minutos para perguntas e respostas ao candidato sobre o conteúdo do trabalho, na seguinte ordem: primeiro o Prof. Dr. Adilson Curi, segundo, o Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza e em último, o Prof. Dr. José Fernando Miranda. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a sessão, o presidente solicitou ao discente e aos espectadores que se retirassem da sessão de videoconferência para que a comissão avaliadora procedesse à análise e decisão. Após a reconexão do discente e demais espectadores, anunciou-se, publicamente, que o discente foi aprovado por unanimidade, com a nota 9,3 (nove virgula 3), sob a condição de que a versão definitiva do trabalho incorpore todas as exigências da comissão, devendo o exemplar final ser entregue no prazo máximo de 15 (quinze) dias. Para constar, foi lavrada a presente ata que, após aprovada, foi assinada pela presidente da comissão. O discente, por sua vez, encaminhará uma declaração de concordância com todas as recomendações apresentadas pelos avaliadores. Ouro Preto, 24 de junho de 2021.

Presidente: Prof. Dr. José Fernando Miranda

Membro: Prof. Dr. Adilson Curi

Membro: Prof. Dr. Felipe Ribeiro Souza

Discente: Pedro Barros da Silva Dias

AGRADECIMENTOS

À minha família, por me fazer sentir sempre acompanhado. À minha mãe e meus falecidos pai e padrasto, pelo apoio moral e financeiro, incondicionalmente.

Ao engenheiro Roberto Emil Karlburguer Junior, pela oportunidade de estágio e confiança. Ao Brasil e a UFOP, pelo ensino público de alta qualidade e diversas oportunidades. Ao professor Dr. José Fernando Miranda, pelo tempo, atenção e dedicação.

Finalmente, aos meus amigos que sempre se preocuparam com meu bem-estar. À Melyna, cujo apoio é indescritível, e por me mostrar o verdadeiro significado de “trabalho em equipe”.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a implementação da Economia Circular (EC) e de práticas sustentáveis na mineração por meio dos procedimentos da análise SWOT. Foram contextualizados o desenvolvimento sustentável e a EC na mineração mediante a avaliação de estudos de casos em que empresas corroboram e/ou corroboraram para tal desenvolvimento. A abordagem metodológica envolveu uma revisão bibliográfica por meio da qual foi possível observar como as empresas se relacionam e/ou relacionaram com a EC em seus processos. Foi apontado pelo estudo a recorrência com que a sustentabilidade é requisitada por Governos e pela sociedade. Através de uma análise SWOT, que aglutinou características de diferentes empresas do ramo da mineração, foi possível observar a relevância de algumas ameaças e oportunidades assim como exemplos de como se aproximar de um empreendimento circular (pontos fortes) e de como se afastar (pontos fracos). Órgãos internacionais como o ICMM e a ONU mostram-se empenhados no que diz respeito ao futuro de processos industriais, onde fatores como crescimento populacional e disponibilidade/escassez de recursos, por exemplo, impactam diretamente a indústria e o meio ambiente. A indústria extrativa mineral, atualmente, é uma das mais importantes atividades produtivas, mas mesmo assim é considerada como uma das que mais agride o meio ambiente. Portanto, buscou-se com esse estudo promover um maior entendimento sobre a relação entre os empreendimentos dessa espécie e o meio ambiente e a população em seu entorno, visando atender aos princípios de sustentabilidade.

Palavras-chave: mineração; meio ambiente; indústria; economia circular; desenvolvimento sustentável; SWOT.

ABSTRACT

This paper aimed to evaluate the implementation of CE and sustainable practices in mining through a SWOT analysis. Sustainable development and CE in mining were contextualized, and cases in which companies support such development were presented. The methodological approach involved a literature review from which it was possible to observe how companies relate or have related to CE in their processes. The study pointed out the recurrence with which sustainability is required by governments and society. The SWOT analysis, which brought together characteristics of different companies in the mining industry, made possible to observe the relevance of certain risks and opportunities, as well as examples of how to approach a circular enterprise (strengths) and how to move away from it (weaknesses). International agencies such as the ICMM and the UN have shown commitment to the future of industrial processes. Factors such as population growth and resource availability/scarcity for example, directly influence the industry and the environment. The mineral extraction industry is one of the most important productive activities that exist, but also one of the most harmful to the environment. Therefore, this study sought to promote a better understanding of the relationship between enterprises of this kind and the environment and population in its surroundings.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mineração e os 17 ODS.....	18
Figura 2 - Diagrama de Borboleta.....	22
Figura 3 - Descrição dos diferentes grupos da análise SWOT.....	28
Figura 4 - Comparação entre número de artigos científicos produzidos sobre o tema ITSM e pesquisas sobre minerais e mineração.....	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

EIDS - Doenças Infecciosas Emergentes;

OSH - Saúde e Segurança no Trabalho;

TVET - Educação e Formação Técnica e Profissional;

CCS - Captura e Estocagem de Carbono;

IFFs - Fluxos Financeiros Ilícitos;

FPIC - Consentimento Livre, Prévio e Informado;

PPPs - Parcerias Público-Privadas.

EAD - Bulgarian Solely Owned Joint Stock Company

ARR - Alumina refinery residue

REE - Rare Earth Elements

ASM - Artisanal and Small-Scale Mining

SCM - Small Coal Mines

SCOM - State Owned Coal Mines

CRM – Critical Raw Material

REO – Rare Earth Oxides

V₂O₅ - Pentóxido de Vanádio

DCF – Discounted Cash Flow

NPV – Net Present Value

IRR – Internal Rate of Return

ECD – Environmental Conservation Department

ICMM - International Council on Mining and Metals

MMSD - Mining, Minerals and Sustainable Development

GRI - Global Reporting Initiative

MCEP - Mining Certification Evaluation Project

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

SDSN - Rede Soluções de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas

ODM - Objetivos de Desenvolvimento do Milênio

ONU - Organização das Nações Unidas

NU - Nações Unidas

CO - Monóxido de Carbono

ITSM – Innovation and Technology for Sustainable Mining

NASA - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço

EPI – Equipamento de Proteção Individual

PAAPS - Periodically Acting and Alkalinity Producing System

SA – Sociedade Anônima

MANAGER - Management of Mine Water Discharges to Mitigate Environmental Risks for Post Mining Period

LoCAL - Low Carbon Afterlife: Sustainable Use of Flooded Coal Mine Voids as a Thermal Energy Source – a Baseline Activity for Minimising Post-Closure Environmental Risks

CEReS - Co-processing of Coal Mine and Electronic: Novel Resources for a Sustainable Future

Sumário

1 - INTRODUÇÃO	11
2 - OBJETIVOS	13
3 – METODOLOGIA:	14
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
4.1 – A Mineração no Âmbito do Desenvolvimento Sustentável	16
4.2 - Contextualizando a Economia Circular	19
4.3 – A Economia Circular e a Mineração	23
5 – A ANÁLISE SWOT	27
6 – CRITÉRIOS DE ANÁLISE PROPOSTOS	30
7 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
7.1 - Pontos fortes - S:	32
7.2 - Pontos fracos - W:	34
7.3 - Oportunidades - O:	34
7.4 – Ameaças - T:	41
7 – CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS	45

1 - INTRODUÇÃO

A mineração tem por conceito a extração de bens minerais da natureza, sólido, líquido ou gasoso, com o objetivo de uso doméstico ou industrial (Hartman, 2002). É uma atividade tão primária e antiga quanto a agricultura. Há evidências de pontas de pedras encontradas junto à fósseis de homens datadas de 450 mil anos atrás (Lewis, 1964). Os mais antigos vestígios existentes de mineração propriamente dita são aqueles existentes nas minas de turquesa na Península do Sinai, cujas atividades foram feitas pelos egípcios, aproximadamente em 3400 a.C., segundo Lewis (1964). Após a revolução industrial, ao final do século 18, tem-se um cenário de avanços tecnológicos crescentes, tal como a demanda por recursos minerais, como aponta Hartman (2002). Hoje o processo de extração mineral evoluiu bastante, principalmente devido aos avanços no âmbito da tecnologia da informação do século 21 (Internet, equipamentos eletroeletrônicos, equipamentos de controle remoto etc).

Embora extremamente necessária, a mineração é considerada maléfica por muitos (Prager, 1997, *apud* Hartman 2002, p. 25). Ainda, segundo esse autor, 80% dos norte-americanos se consideram “ambientalistas”, ou seja, indivíduos que prezam pela preservação do meio ambiente. As causas de opiniões negativas variam e podem derivar da simples falta de conhecimento das pessoas acerca da origem de seus pertences, ou dos impactos visuais causados pela mineração por exemplo. Além disso, trata-se de um recurso “não renovável” (escala de milhões de anos para a geração de novos minerais), o que implica em maior exigência de controles para com a atividade em todos os aspectos (ambiental, logístico, econômico etc).

Vivemos hoje em um mundo cujos recursos naturais não mais nos parecem ilimitados. Como previa Boulding (1966), a nossa vida hoje na Terra assemelha-se a de um astronauta habitando uma espaçonave: os recursos naturais são finitos. Segundo Boulding (1966), o planeta Terra pode ser definido como um sistema econômico fechado (circular), onde a economia e o meio-ambiente se relacionam também de forma circular, onde tudo é sempre *input* (entrada) para qualquer coisa.

Pelo ponto de vista de um sistema de produção-consumo linear, os resíduos da mineração, similarmente aos de qualquer outra indústria, devem ser descartados, com foco exclusivamente na otimização da quantidade de produção. Tal metodologia aplicada à atividade industrial, como aponta Stahel (1982), causa deterioração ambiental

do início ao fim. Nessa linha de pensamento, a ideia por trás da prática linear deste sistema de produção-consumo era de causar rápida substituição dos produtos, de forma a acelerar o consumo. Os resultados foram bens e serviços com vida útil curta, caracterizados pela alta necessidade de reparos. Entretanto, nas últimas décadas, o conceito de economia circular, introduzido por Pearce e Turner em 1990, ganhou popularidade e sugere uma abordagem distinta à tais resíduos com foco na reutilização, no reparo, no acondicionamento e na reciclagem.

O sistema de produção-consumo circular, diferentemente do linear, sugere que os produtos circulem ao longo da cadeia de produção antes de serem descartados definitivamente. Idealmente, tal prática proporciona uma economia que minimiza a geração de matéria, a utilização de energia e a deterioração ambiental, enquanto mantém o crescimento econômico e social e o progresso tecnológico (Stahel, 1982). A reutilização, reparo e acondicionamento de produtos usados serviriam como fonte de novos produtos (chamados *refurbished* ou remodelados) e a reciclagem geraria matéria-prima localmente disponível para outros processos, incluindo a geração de novos produtos.

2 - OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar a implementação de práticas de economia circular (EC, do inglês *circular economy*) na indústria mineral sob a ótica de um planejamento estratégico SWOT, visando a adequação de empreendimentos minerários aos princípios de desenvolvimento sustentável.

3 – METODOLOGIA:

Este estudo foi desenvolvido por meio de revisão bibliográfica sobre economia circular juntamente com o estudo da implementação de técnicas sustentáveis e/ou de economia circular na mineração. Buscou-se avaliar a aplicação deste conceito na indústria da mineração com base em estudos de caso nacionais e internacionais mediante a análise SWOT (FOFA).

Foram expostas as principais barreiras (fraquezas e ameaças) e possíveis soluções (forças e oportunidades) na adoção de práticas sustentáveis na mineração e discutida sua viabilidade de implementação no contexto mundial. Feito isso, foi apresentada a construção de uma matriz SWOT geral para empreendimentos de mineração, condizente com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS, propostos pela ONU (PNUD, 2017) e Economia Circular, bem como realização da análise de diferentes planos estratégicos de algumas empresas internacionais que vêm empregando essa prática, no sentido de validar a matriz SWOT apresentada.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nos últimos dez anos o Brasil evidenciou dois grandes acidentes ambientais provindos da mineração, mais precisamente rompimentos de barragens de rejeito: rompimento da Barragem de Fundão (Novembro de 2015, Bento Rodrigues, MG) e da Barragem de Córrego do Feijão (Janeiro de 2019, Brumadinho, MG).

Neves *et al.* (2020) aponta que o vazamento de 60 milhões de m³ de rejeito da barragem de Fundão ilustrou o maior acidente deste tipo já registrado no Brasil, número expressivo quando comparado ao rompimento da barragem de Brumadinho onde vazaram 13 milhões de m³ (Freitas *et al.* 2019).

O acidente em Bento Rodrigues exemplificou os danos causados por qualquer outro evento desse tipo em diferentes escalas. No caso em questão foram quase 1 milhão de pessoas sem acesso a água tratada durante dias, pesca suspensa em qualquer vila com acesso ao rio Doce (principal afetado), escolas e universidades fechadas por dias em dois estados brasileiros (Neves *et al.*, 2020).

Embora tenha havido grande esforço por partes das empresas mineradoras quanto à realização de estudos de viabilidade econômica do empreendimento, a questão referente às formas de disposição de rejeitos e estéreis não foi alterada. Evidenciou-se a escolha pelo método de disposição de rejeitos em barragens, não só nos casos citados, mas como em grande maioria das outras atividades extrativas minerais no País. Tal método destaca-se pela capacidade de armazenamento de grandes quantidades de resíduos, a um custo relativamente baixo, quando comparado a outros.

Esses eventos culminaram com maiores exigências regulamentares a respeito da disposição de resíduos minerais, rechaçando a utilização do sistema de barragens. O setor mineral passou então a buscar alternativas a esse procedimento, incluindo o descomissionamento das barragens existentes. Isso proporcionou o desenvolvimento de pesquisas de reaproveitamento desses resíduos, como fonte minério, para processos mais modernos e eficientes.

Hoje, portanto, torna-se cada vez mais atraente a implementação da Economia Circular no setor minerador buscando aumentar a eficiência do aproveitamento dos recursos minerais e, conseqüentemente, reduzir a quantidade de material a ser descartado.

4.1 – A Mineração no Âmbito do Desenvolvimento Sustentável

Devido ao aumento na taxa do crescimento populacional nos últimos anos a demanda por matéria-prima mineral vem crescendo e tende a crescer mais ainda no futuro. Isso implica no aumento da extração de minérios cada vez mais pobres e conseqüentemente na degradação ambiental cada vez maior, com a exigência de maiores áreas para disposição dos rejeitos, considerando a recorrência a um sistema de produção-consumo linear. Assim, de maneira geral, os depósitos minerais mais ricos e superficiais tendem a se exaurir, tornando necessária hoje uma maior remoção de material estéril para adquirir a mesma quantidade de minério quando comparado às reservas de antigamente.

A atual preocupação com o meio ambiente vem sendo evidenciada, de acordo com Horowitz (2006), por iniciativas como a formação do ICMM (Internacional Council on Mining and Metals), do MMSD (Mining, Minerals and Sustainable Development), GRI (Global Reporting Initiative), MCEP (Mining Certification Evaluation Project). Ainda segundo esse autor, a mineração sustentável requer a valorização e a administração de incertezas e riscos associados ao desenvolvimento de recursos naturais. Isso porque, de forma geral, empresas mineradoras trabalham com grandes volumes de material e em regiões mais ruralizadas, onde pressupõem-se que existam comunidades e um ecossistema sensível. Para a autora, organizações mundiais, como por exemplo o ICMM, poderiam exercer o papel de regulador internacional em termos de práticas sustentáveis na mineração, além de encorajador às mesmas.

Em 2015, o Secretário-geral da ONU Ban-Ki Moon em parceria com a Rede Soluções de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas (SDSN), conceberam e implementaram os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Uma agenda global contendo 17 ODS e 169 metas para execução de iniciativas sustentáveis foi aprovada em setembro de 2015 e inserida no acordo internacional intitulado “Transformando o nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, que por sua vez consiste em um plano de ações para empresas, organizações da sociedade civil e governos em um horizonte de 15 anos (2015 a 2030). Os ODSs representam uma seqüência aos ODM (Objetivos de Desenvolvimento do Milênio), criados primordialmente para tentar erradicar a pobreza no período de 2000 a 2015 (UN, 2015).

No âmbito da mineração, em 2017 foi desenvolvido o relatório “Atlas: Mapeando os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável na Mineração” (Lewis, 2017) que descreve idealmente uma forma das empresas de mineração se relacionarem com cada um dos ODS, bem como com as metas estabelecidas pela própria ONU para o setor mineral. Este relatório sugere como cada objetivo pode ser integrado no *core business* da empresa, ou seja, como a empresa pode incorporar o ODS sem alterar o principal foco do negócio, e também expõe as formas de potencializar o processo por meio de colaborações entre empresas, governo e/ou sociedade.

O relatório foi elaborado a partir de entrevistas e pesquisas realizadas com mais de 60 especialistas da indústria, sociedade civil, governo, universidades, organizações internacionais e instituições financeiras de junho de 2015 a agosto de 2015. Neste documento encontra-se um capítulo para cada ODS e como a indústria de mineração pode contribuir para identificar oportunidades no modo como as empresas colaboram com outras partes interessadas e mobilizam recursos para efetivar o ODS. Há também, em relação a cada ODS, estudos de caso sobre os quais é possível desenvolver a construção de esforços e colaborações inovadores, sistemáticos e sustentados (Lewis, 2017).

Pela análise deste documento, pode-se perceber o quão impactante a mineração pode ser, tanto negativa quanto positivamente. Pelo fato de serem instaladas, na maior parte, em áreas ecologicamente sensíveis, remotas e menos desenvolvidas, as atividades minerais podem gerar danos ao meio ambiente e às comunidades locais. Por outro lado, podem ser responsáveis pelo desenvolvimento da região em termos de infraestrutura e tecnologia, além de criar empregos e promover inovações. Como apontado pelo IBRAM (2020, p. 9):

A mineração está entre os setores industriais que menos emite Gases de Efeito Estufa (GEE); tem altos índices de reuso de recursos hídricos; preserva ou conserva a maior parte das áreas concedidas para a atividade mineral; tem por característica ser uma atividade de baixa extensão territorial e, sendo assim, todo o setor mineral industrial ocupa apenas 0,6% do território nacional; é dos principais aportadores de recursos e fomentadores de inovações tecnológicas e, por isso, agrega muito valor a cada grama de minério produzido, destinado ao mercado interno ou externo; faz a diferença ao gerar tributos e originar negócios para extensas cadeias produtivas em regiões Brasil afora, contribuindo para elevar a qualidade de vida dos cidadãos.

A figura 1 mostra as principais áreas onde a mineração pode ter impacto em

cada ODS.



Figura 1 - Mineração e os 17 ODS.
Fonte: Lewis, B. 2017

Segundo o IBRAM (2020), as práticas de sustentabilidade vêm sendo priorizadas há décadas no Brasil, e isso pode ser evidenciado ao se comparar os indicadores de sustentabilidade adotados pelas empresas no início de seus sistemas de gestão ambiental, com os indicadores atuais. O IBRAM se compromete, ainda, em parceria com outras organizações, públicas e particulares, e com as comunidades locais, autoridades municipais e estaduais, a elaborar projetos com o objetivo de promover o desenvolvimento socioeconômico de territórios minerados. Para isso é sugerido uma melhoria na comunicação entre mineradoras e outras organizações em termos de dados,

de programas especiais e tendências internacionais de modo a serem percebidos positivamente pela sociedade. Além disso, o IDH (Índice de Desenvolvimento Urbano) de cidades onde existem atividades de mineração tende a ser o maior entre todas as cidades do respectivo estado (IBRAM, 2020). O IDH engloba três indicadores: expectativa de vida, escolaridade média em anos e renda per capita

4.2 - Contextualizando a Economia Circular

A origem exata do termo Economia Circular é desconhecida, pois foi proposta diferentemente por vários autores representantes de escolas de pensamento distintas (Wautelet, 2018).

Entretanto, ainda segundo Wautelet (2018), há um consenso entre a maior parte dos pesquisadores dessa área de que o sistema econômico circular foi sugerido primeiramente pelos economistas ambientais Pearce e Turner (em *Economics of natural resources and environment*, 1990), que por sua vez se basearam em conclusões propostas por Boulding (1966). Tem-se hoje cinco teorias distintas de como implementar e desenvolver uma economia circular, que são: *Cradle to cradle* (berço a berço), biomimética, ecologia industrial, economia azul e economia de performance.

- ✓ O conceito de *Cradle to Cradle* gira em torno da eficácia ecológica no desenvolvimento de bens e serviços. Seguindo essa linha de raciocínio, os produtos só perdem valor ao serem reciclados quando seu processo de fabricação não considera essa etapa desde o início (Wautelet, 2018).

A eficácia ecológica, almejada por esta teoria, busca aumentar os efeitos dos impactos positivos por meio do aumento da qualidade dos produtos. Isso se diferencia de eficiência ecológica, cujo objetivo é reduzir os impactos negativos diminuindo a quantidade de produtos. Segundo os próprios desenvolvedores da ideia (Mc Donough e Braungart), vem sendo observado que a maior parte das empresas optam por estratégias que buscam eficiência ecológica, mas que poderiam se beneficiar mais, em termos de sustentabilidade no empreendimento, caso aplicassem diferentemente o conceito.

- ✓ **Biomimética** - é uma ciência relativamente nova que busca aprender com a forma como a natureza e os seres vivos vivem e se adaptam e transformar isso

em soluções para a vida moderna, ou seja, é a imitação do funcionamento do meio ambiente, por parte da indústria. É definida através do desenvolvimento de tecnologias cujo funcionamento se baseia na própria natureza (Wautelet, 2018). Assim, o meio ambiente serve de modelo e também fornece padrões de medida (por exemplo limites a valores de % de CO no ar).

- ✓ A **ecologia industrial** busca redimensionar o papel da sociedade no âmbito industrial, isto é, passar a tratá-la como um ecossistema específico contido na biosfera.

A ecologia industrial busca quantificar e também regular os fluxos de energia e matéria inerentes ao processo industrial em questão, além de como ele se relaciona com a biosfera (Wautelet, 2018). Faz-se necessária a compreensão do sistema industrial e de seus componentes e o ambiente onde se encontram, e considerar ambos pertencentes a um único ecossistema.

- ✓ Segundo Wautelet (2018), a **Economia Azul** possui duas características principais: o modelo de negócios inovador e a competitividade. É um movimento no qual, empreendedores expõem estudos de caso de suas respectivas áreas e buscam implementar modelos econômicos inovadores que atendam a demanda preterida com a disponibilidade local de recursos. Pode ser descrita como “a melhor e mais barata solução para saúde e meio ambiente, onde requisitos para a vida são gratuitos devido ao sistema local de produção que funciona apenas com recursos já existentes” (Paulie, 2010).
- ✓ A **economia de performance** foca em otimizar a parte do processo industrial que diz respeito a consumo de recursos e geração de resíduos. Simultaneamente busca diminuir a necessidade de grandes investimentos iniciais, enquanto aumentaria a taxa de emprego e crescimento econômico (Wautelet, 2018).

Stahel (2010), aponta que o caminho mais curto em direção à otimização do sistema industrial é priorizar a autossuficiência de recursos, antes de eficiência, buscando prolongar a vida-útil dos produtos e promover práticas industriais que atinjam positivamente as comunidades locais (geração de emprego por exemplo).

Conceitualmente, o termo economia circular aglutina estratégias e conceitos como “preocupação com ciclo de vida” (*life cycle thinking*), “produtividade de recursos”

(*resource productivity*) e “mudança para um gasto energético com baixo teor de carbono” (*shifting to low-carbon energy*) no próprio modelo econômico da empresa (ICMM, 2016).

Na análise da economia circular do ICMM (2016), ao se aproximar do final da vida útil, os produtos devem ser restaurados de forma a devolver matéria biológica ao meio ambiente, ou devolver matéria não biológica à economia.

Ainda, segundo o ICMM (2016) a economia circular remete, radicalmente, à estratégia “*cradle to cradle*” (C2C), desenvolvida por William McDonough e Michal Braungart como resposta às limitações de uma estratégia econômica ecologicamente eficiente (mais valor por menos impacto). O C2C não só busca reduzir os impactos negativos ocasionados pelo empreendimento, mas, também, aprimorar a qualidade da economia em si, por meio de 3 princípios:

- 1) Resíduo igual a alimento (nutrientes são nutrientes), o qual garante aos produtos e resíduos gerados no processo a possibilidade de serem retornados ao planeta Terra, seja como matéria-prima ou *inputs* para sistemas de produção, similares ou distintos;
- 2) Utilização da energia solar, a princípio de qualquer maneira, porém mais proveitosamente como fonte de energia elétrica renovável;
- 3) Comemorar diversidade, no sentido de aproveitar particularidades locais como cultura, fauna e flora locais na otimização dos processos. (ICMM 2016).

Não obstante, segundo ICMM (2016), os autores McDonough e Braungart diferenciam nutrientes (citados no primeiro princípio de aprimoramento da economia) biológicos de nutrientes técnicos, sendo o primeiro definido por materiais que possam retornar ao solo (e.g. vegetação, árvores e outras fontes de fibra) e o segundo por minerais, metais e plásticos, cujo aproveitamento gira em torno da recuperação, reciclagem e reutilização. A figura 2 ilustra um sistema de produção-consumo circular e exemplifica nutrientes biológicos e técnicos:

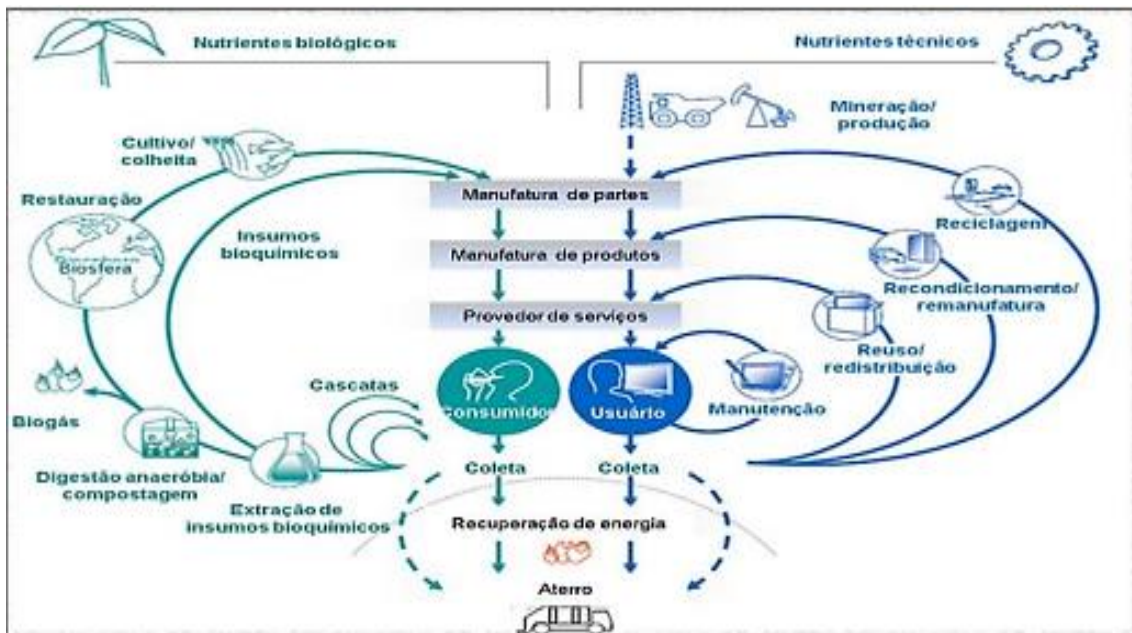


Figura 2 - Diagrama de Borboleta.

Fonte: Xavier & Correa, 2013, *apud* Ribero-Dutchie, 2017, traduzido da EMF (2013a).

Zvarivadza (2018) descreve como um desenvolvimento sustentável pode ser alcançado na indústria mineral. Para o autor os impactos ambientais negativos da mineração são a maior dificuldade de se alcançar a sustentabilidade, e para fazê-la com excelência, deve-se focar na participação das comunidades locais. Também é exposto que uma melhor gestão ambiental representa, sem dúvidas, o caminho mais curto em direção à sustentabilidade na mineração e que para tanto, é necessária uma íntima relação e cooperação entre o setor industrial e as comunidades locais e o próprio Governo.

Alves (2020) expõe os desafios e as possíveis alternativas ao setor minerário brasileiro em direção à consolidação de sustentabilidade em suas operações.

Tratando-se especialmente de países em desenvolvimento, Singh (2020) lembra que as organizações do setor industrial não possuem estimativas claras a respeito dos desafios necessários para adaptação dos seus respectivos processos ao conceito de EC. Ademais, a maior parte das organizações não consegue implementar práticas da EC devido a uma combinação de barreiras econômicas, organizacionais, operacionais e de mercado (Singh, 2020). Assim, entende-se que a capacidade técnica, por parte das

empresas, de reutilizar os produtos é de suma importância à implementação da EC, cuja dificuldade está em viabilizar economicamente o processo produtivo (Golev *et al.* 2016). Com efeito, o resíduo é considerado no modelo de EC como uma falha de concepção (Santiago, 2017, *apud* Ribeiro-Duthie, 2017, p. 8).

O objetivo da EC, portanto, compreende-se em: aperfeiçoar o processo de produção onde se utiliza a maior parte do resíduo como matéria-prima futura e limitar o processo de extração a ponto que, por sua vez, trataria de selecionar tudo o que possa ser sustentavelmente extraído e processado. Atualmente há um forte foco nos aspectos técnicos e de oportunidades de negócios quando se trata de desenvolvimento de produtos. Porém, segundo Hallstedt *et al.* (2013), pouca atenção é dada às implicações sustentáveis de tais conceitos de produto. Segundo estes autores, o desafio é fazer com que a avaliação e a valorização de conceitos de produto, feita por engenharia avançada, seja responsável pelo foco em direção a sustentabilidade.

4.3 – A Economia Circular e a Mineração

Do ponto de vista técnico, a implementação da EC na mineração é extremamente complexa. Isso porque a depender da lavra em questão, ou seja, da geologia e mineralogia locais, está a natureza do resíduo, e com isso devem ser conduzidos estudos e tratamentos específicos àquele resíduo de forma a considera-lo dentro dos princípios da EC. Além disso, fatores externos como ecossistema e comunidade locais e infraestrutura corroboram para a complexidade da implementação desse conceito de EC.

Castilla-Gómez e Herrera-Herbert (2015) sugerem que os impactos gerados por operações mineiras dependem de uma gama de fatores, tais como natureza ou origem do mineral, parâmetros geológicos e geotécnicos do método de extração, tipo e quantidade de resíduos gerados (sólidos, líquidos e gases) e também tipo e quão vulnerável é o componente ambiental local.

Hallstedt *et al.* (2013) propuseram uma metodologia envolvendo 4 fases, com o objetivo de alcançar a sustentabilidade na mineração: (1) reconhecer o senso comum sobre sustentabilidade; (2) coordenar e integrar as ferramentas e os métodos para o desenvolvimento de produtos sustentáveis no processo geral de tomada de decisões da empresa; (3) combinar em grande escala iniciativas de suporte às corporações engajadas

em um sistema de processo sustentável; (4) enfatizar a importância de uma comunicação verdadeiramente efetiva.

Outra metodologia foi proposta por Bluszcz e Kijewska (2015) e sugere uma abordagem um pouco distinta. Segundo esses autores, práticas sustentáveis no setor da mineração devem ser desenvolvidas considerando os seguintes aspectos: (1) redução de impactos causados pela exploração mineral, (2) uso racional de depósitos de recursos, (3) garantia de seguridade ao possível uso de recursos minerais abandonados no local (prática comum que ocorre quando a exploração do recurso deixa de gerar lucro), (4) otimização do uso da área e respeito às preferências das comunidades locais e exigências ambientais após o fechamento da mina, e (5) proteção da biodiversidade.

Em relação aos métodos de avaliação de sustentabilidade, pode-se dizer que são baseados na identificação e valorização de critérios que por sua vez expõem impactos em potencial nas três dimensões de um desenvolvimento sustentável: social, econômico e ambiental (OECD, 2010, *apud* Alves, 2016, p. 4).

O real propósito desta avaliação, em termos práticos, é prover uma valorização global e local sobre sistemas integrados entre natureza e sociedade, a curto e longo prazo, aos tomadores de decisão das empresas (Singh *et al.* 2009). Com isso, os tomadores de decisão seriam capazes de determinar mais facilmente quais ações devem ser priorizadas e quais não devem, em prol de um empreendimento sustentável.

Segundo Alves (2016), é necessária a determinação de índices de sustentabilidade para então avançar no desenvolvimento de um empreendimento. Para o autor, os índices serviriam para monitorar o desempenho do método e prover dados de referência para comparações a níveis regionais e nacionais no setor.

As categorias dos índices estão compreendidas entre social, econômico e ambiental. É imperativo que no processo de desenvolvimento de indicadores, particularidades locais sejam consideradas como, por exemplo, infraestrutura, natureza do recurso a ser extraído, legislação vigente e proximidade entre o empreendimento e as comunidades locais (Alves, 2016).

Entretanto, no que tange à determinação de tais indicadores, geralmente se afunila em basicamente duas metodologias: a baseada em *experts* no assunto (*expert-led* ou *top-down*) e a baseada no senso comum (*community-based* ou *bottom-up*) (Alves,

2016).

Horsley *et al.* (2015) explicam que os especialistas abordam os indicadores de forma quantitativa, ou seja, fazem uso de dados científicos; reconhecem a alta complexidade de sistemas dinâmicos e julgam praticamente impossível levar em consideração todas as variáveis. Já a abordagem do senso comum se baseia em ideias mais locais, contextuais e participatórias (práticas).

Em suma, ainda segundo Horsley *et al.* (2015), na determinação de indicadores de sustentabilidade, o foco deve ser a compreensão das condições e valores de variáveis locais, a necessidade de estabelecer prioridades e admitir que o monitoramento da sustentabilidade é um processo de aprendizagem em andamento, para ambos pesquisadores e comunidade.

Para Alves *et al.* (2020), indicadores e relatórios de sustentabilidade propostos por agências como GRI (Global Report Initiative), DJS (Dow Jones Sustainability Index), OECD (Organization for Economic Co-operation and Development), Environmental Indicators for European Union, e EPA (Environmental Protection Agency) são de papel primordial para se iniciar uma discussão a respeito da necessidade de desenvolvimento de métodos gerenciais, que por sua vez auxiliariam empresas do setor a valorizar seu processo em direção à sustentabilidade ambiental e até mesmo social.

Já para Stahel e Cliff (2006) uma das consequências indiretas da transição para um modelo de EC seria o aumento da oferta de emprego. Isso porque o modelo circular força o produto em questão a tomar novas rotas dentro do sistema de produção-consumo, logo se faria necessária a participação de mais equipes de pessoas. É importante ressaltar que enquanto a EC possa culminar em benefícios sociais, o foco da técnica não é precisamente o elemento social de um desenvolvimento sustentável. Idealmente o foco deve ser dado aos materiais, a otimização do uso de recursos e a sistemas de produção-consumo. Os resultados favoráveis à sustentabilidade social como, por exemplo, redução da desigualdade de renda, aumento da oferta de empregos e melhoria na saúde, conceitualmente seriam indiretos

Segundo ICMM (2016) e MacArthur (2014), estimam-se resultados da ordem de centenas de bilhões de dólares em economia de matéria-prima e centenas de milhares de novos empregos com a aplicação dos princípios da EC. Valores estes, derivados dos

maiores e mais eficazes ciclos de materiais e produtos na escala de produção; redução do custo de obtenção de matéria-prima e na administração de resíduos; criação de emprego e infraestrutura com o objetivo de remodelar, reutilizar e recuperar economicamente materiais e produtos.

Os próprios reparos, reutilizações e reciclagens tornam necessária a estipulação de novas equipes de pessoas, em tese, responsáveis somente por tais práticas. Uma transição a este modelo foi considerada pelo Clube de Roma com potencial para reduzir as emissões de gases do efeito estufa em 70% e fazer crescer a demanda por força de trabalho em 4% (Stahel, 2017, *apud* Ribeiro-Dutchie, 2017, p. 9).

Não obstante, nas últimas décadas o número de corporações mineiras dispostas a compartilhar, ou já compartilhando, detalhes sobre iniciativas sustentáveis em relatórios públicos cresceu rapidamente (Bohling *et al.* 2017). No contexto brasileiro, isso se tornou verdade especialmente após os acidentes da Samarco (Fundão) e Vale (Brumadinho).

Todavia, no que diz respeito aos investimentos, segundo Bhandari *et al.* (2019), o interesse de bancos e instituições financeiras em empreendimentos de EC é crescente, mas o investimento concreto ainda é limitado.

Embora as próprias instituições financeiras incentivem o processo, elas admitem ter problemas na valorização de riscos no que concerne a adoção de práticas de EC. Tais problemas são causados, de forma geral, por políticas locais, incertezas, mudanças climáticas e ambientais, e por último, mas não menos importante, porque os benefícios de uma EC são mais fortemente percebidos a um longo prazo (Müller e Tunçer, 2013).

5 – A ANÁLISE SWOT

SWOT (Strength, Weakness, Opportunities and Threats) ou FOFA (Força, Oportunidade, Fraqueza e Ameaça) é uma ferramenta de análise que consiste, basicamente, em identificar parâmetros da empresa e do ambiente em que se encontra e posicioná-los estrategicamente na matriz SWOT.

O desenvolvimento dessa ferramenta é comumente creditado a Albert S. Humprey, na Universidade de Stanford, utilizando dados das 500 maiores empresas publicadas na revista Fortune nas décadas de 1960 e 1970 (Persegona, 2019).

Segundo especialistas da FCAP JR. (2021) a análise do ambiente em questão auxilia na definição dos planos e das metas da empresa, no reconhecimento do ambiente para as melhores oportunidades, no desenvolvimento das potencialidades e no mapeamento das ameaças externas.

Toda e qualquer empresa atua em um ambiente de competição que oferece oportunidades, riscos e incertezas (Calaes, 2007). Como forma de quantificação e qualificação dos objetivos da empresa, além de meios para atingi-los, forma de avaliá-los e resultados a serem alcançados, Calaes (2007) também sugere a elaboração de um plano de negócios, ou Planejamento Estratégico Institucional (PEI). A análise SWOT faz parte da confecção do PEI (Persegona, 2019).

O PEI, por sua vez, consiste em outra metodologia que define características da empresa como "missão", "visão", "valores", "estratégia" (onde entra a análise SWOT) entre outros.

Segundo Persegona (2019) a análise da matriz SWOT divide-se essencialmente em análises interna e externa, as quais a primeira trata de forças e fraquezas (empresa tem controle) da empresa e a segunda de oportunidades e ameaças (fora do controle). FCAP JR. (2021) sugere um roteiro para a realização da análise SWOT que consiste em: 1) reunir uma equipe diversa, cuja participação seja constantemente estimulada, 2) registrar, consolidar e organizar as informações para melhor visualização de todos, 3) esclarecer cada um dos pontos a ser avaliado e consolidar as ideias comuns, e 4) ordenar os pontos detalhadamente.

Todo o processo deve ser realizado para cada um dos grupos: forças, fraquezas, oportunidades e ameaças. Sugere-se ter cuidado para não confundir pontos fortes com

oportunidades e pontos fracos com ameaças (Persegona, 2019). Para tanto recomenda-se que a equipe defina se a empresa possui controle sobre tal fator. Caso a resposta seja positiva, trata-se de um ponto forte ou ponto fraco; em caso de resposta negativa trata-se de oportunidades ou ameaças. Sugere-se também a utilização das letras S, W, O e T em detrimento de F, O e A (FOFA) para que não haja repetição das iniciais das dimensões analisadas (Persegona, 2019). A figura 3 descreve brevemente as particularidades de cada grupo da análise:

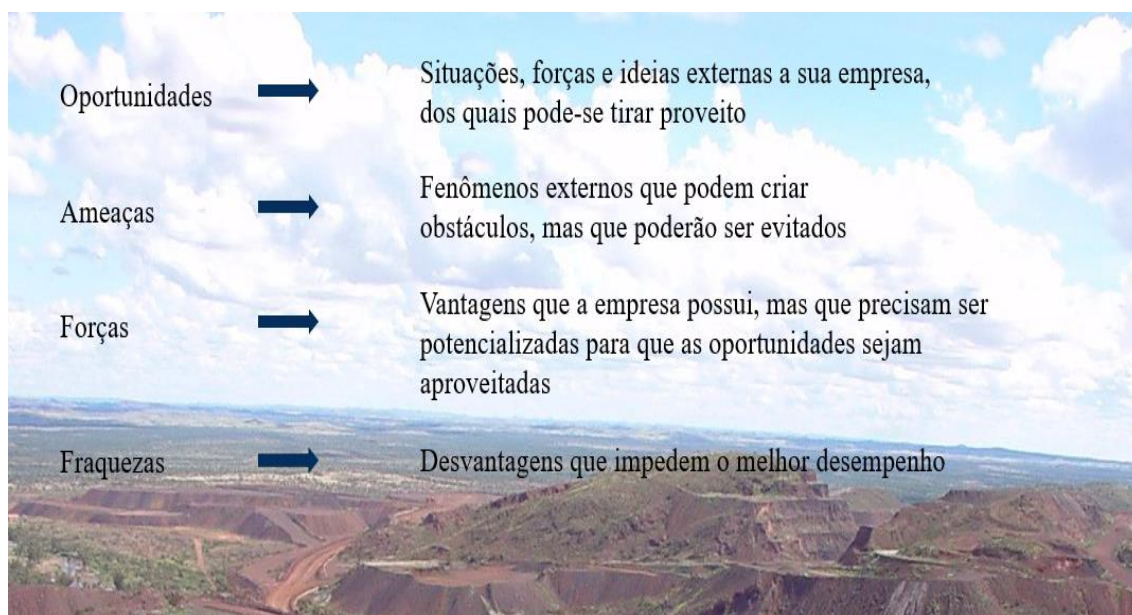


Figura 3 - Descrição dos diferentes grupos da análise SWOT.

Fonte: Própria (2021).

Uma vez concluída a matriz SWOT, é sugerido que se faça um cruzamento de dados com os pontos destacados, isto é, a análise da influência das forças e fraquezas sobre as oportunidades e ameaças, tornando possível elaborar o planejamento estratégico da empresa. De acordo com a FCAP JR. (2021), o cruzamento de dados proposto possibilita o delineamento de quatro estratégias: **ofensiva** (Forças x Oportunidades), **confronto** (Forças x Ameaças), **reforço** (Fraquezas x Oportunidades) e **defesa** (Fraquezas x Ameaças). Outros autores denominam tais estratégias diferentemente, como por exemplo, a utilização do termo “alavancagem” no lugar de “ofensiva” ou “vulnerabilidade” ao invés de “confronto”, mesmo se tratando do cruzamento dos mesmos tipos de dados (ambas as estratégias “ofensiva” e “alavancagem” remetem ao cruzamento entre pontos fortes e oportunidades)

(Persegona, 2019). Deve-se ater, portanto, a quais espécies de fatores estão presentes no cruzamento, pois assim não haverá discrepâncias de entendimento acerca da literatura.

A estratégia ofensiva consiste na utilização de um ponto forte qualquer da empresa na potencialização da probabilidade de uma oportunidade ocorrer. É empregada no cenário mais otimista da empresa (FCAP JR., 2021).

Já a de confronto, caracteriza-se pela utilização de um ponto forte da empresa na diminuição da probabilidade de concretização de ameaça(s). Segundo especialistas (FCAP JR, 2021), tal estratégia gera conforto para a empresa, uma vez que aumenta o tempo de análise limite para as ameaças.

Reforço é a estratégia que visa identificar *pushbacks*, isto é, neste caso, dificuldades de concretização das oportunidades devido a ação de pontos fracos. O foco dessa estratégia é diminuir a influência das fraquezas no ambiente externo à empresa (FCAP JR, 2021).

Por fim, a estratégia de defesa visa a minimizar as chances de uma fraqueza tornar real uma ameaça. É empregada no cenário mais pessimista da empresa, onde trabalha-se para diminuir impactos negativos já existentes (FCAP JR, 2021). A matriz SWOT não serve apenas para elaborar planejamentos estratégicos e ver seu posicionamento no mercado, mas também para a elaboração de novos projetos (FCAP JR., 2021).

6 – CRITÉRIOS DE ANÁLISE PROPOSTOS

Foram analisados diversos estudos de casos internacionais de empreendimentos minerários que implementaram práticas gerenciais voltadas à melhoria de sua performance ambiental, atuando assim de forma direta ou indireta, dentro dos princípios da economia circular e serviram como base para exemplificação de pontos fortes e fraquezas do setor mineral para serem usados numa análise SWOT. Por isso são aqui listados: *asarco ray operations*, ASARCO LLC (Gorman e Dzumbak, 2018); mina Mount Morgan, Mount Morgan Limited (Lebre *et al.*, 2017); mina de Chelopech, Dundee Precious Metals Chelopech EAD (Ivanova e Slavova, 2019); TAURON Wydobycie S. A. e minas da região da bacia do carvão da Alta Silésia, em especial a mina de carvão Janina (Bondaruk, 2017); 16 depósitos inativos de rejeito na região de Antofagasta, Chile (Araya *et al.* 2020); a mina de Woodlawn na região da bacia Goulburn, Austrália, atualmente da empresa Heron Resources Limited (Holcombe, 2020); 51 minas de metálicos na Finlândia, fechadas entre 1924 e 2016 (Kivinen, 2017).

Como estudos de caso nacionais, são citados: Calaes (2007) que apresenta os fatores intrínsecos a indústria de agregados em regiões metropolitanas, em especial do parque produtor de brita da RMRJ (Região Metropolitana do Rio de Janeiro); Raupp (2018), que traz a questão dos resíduos de maquinaria agrícola de uma empresa do setor de comercialização de máquinas, implementos, peças e serviços ligados a agropecuária, em São Gabriel, RS.

Com base nestes estudos de casos, buscou-se realizar uma análise SWOT, somente dos preceitos associados ao tema economia circular, utilizando o roteiro proposto pela FCAP JR (2021) e Persegona (2019).

Foram selecionados os itens de maior abrangência possível, com o objetivo de englobar os principais aspectos contribuintes e prejudiciais ao estabelecimento de uma economia circular na mineração. Evidencia-se que os pontos de força e fraqueza são particulares de cada empreendimento e estão presentes desde a qualidade dos produtos e resíduos gerados até como são tomadas as decisões, entre outros (Persegona, 2019).

Por outro lado, oportunidades e ameaças agem externamente a empresa e, como exemplos, podem ser citados infraestrutura e mão-de-obra locais, mercado interno e biodiversidade da região (Calaes, 2007).

Cabe aos tomadores de decisão de cada empresa a conclusão a respeito dos itens observados, ou seja, quais itens representam ameaças ou oportunidades e quais constituem o ambiente interno e externo.

7 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 - Pontos fortes - S:

De acordo com Holcombe (2020), o projeto da mina de Woodlawn, Austrália, foi adequado para receber, a partir de 2019, mais de 40% de todo o esgoto sanitário de Sydney, para ser despejado numa antiga cava de mina, dentro de um plano de recuperação de área degradada. O projeto contou com a criação de um biorreator para aproveitamento dos gases para geração de energia. Além disso, outras áreas degradadas foram utilizadas para criação de peixes e agricultura hidropônica e a criação de plantas de energia eólica e de energia solar.

Como o resultado ultrapassou as exigências legais impostas, os órgãos reguladores licenciaram a reabertura do empreendimento por outra empresa, cujos ganhos possibilitaram o pagamento de salários e aposentadorias atrasados, com o comprometimento de revitalizar a cava exaurida, ainda pela antiga empresa. Para atender a toda essa demanda, houve o reinvestimento de 3,3% dos lucros em R&I (pesquisa e inovação), equivalente a 54,2 milhões de dólares.

Na mina de *Mount Morgan* (Queensland, Austrália) foi gerido um programa de tratamento de rejeito que estendeu a vida útil da mina em 8 anos (Lebre *et al.*, 2018). Tal programa tinha como foco a extração de ouro e prata de rejeito sulfídrico (Wels *et al.*, 2006, *apud* Lebre *et al.*, 2018).

Segundo Ivanova e Slavova (2019), houve reinvestimento de quase 90% dos lucros da Mina de Chelopech, gerida por Dundee Precious Metals, com o objetivo de torná-la uma operação mais viável sob um ponto de vista da economia circular, mais moderna e conformada aos padrões internacionais de segurança. Com isso foi possível a modernização da planta de processamento, que reduziu o consumo de água, a melhoria no sistema de bombeamento e ventilação, causando a diminuição de 30% no consumo energético desses processos e a otimização do sistema de transporte de minério, reduzindo consumo de diesel.

Também se fez uso de um novo método de mineração, que resultou em uma extração mais eficiente com menor geração de resíduos (no caso, a transição foi do *sub-level caving* para o *long-hole stopping*). Como resultado desse novo método pôde-se

observar a otimização do processo de preenchimento de realces, que reduziu o consumo de cimento (Ivanova e Slavova, 2019).

Giurco *et al.* (2014) citam o Programa de reciclagem de latas de alumínio e/ou ferro usadas, como característica positiva das empresas Comalco (1971), Alcoa (1977) e BHP (1990), todas na Austrália. De fato, o programa possibilitou a tais empresas darem um tratamento adequado aos seus resíduos, o que reduziu sua disposição no meio ambiente e gerou lucro.

Foram apontados por Gorman e Dzumbak (2018) alguns projetos desenvolvidos pela empresa Asarco no próprio complexo *Asarco Ray Operations*, no estado do Arizona, Estados Unidos. Tais projetos contribuíram para um caráter circular em relação à forma como a empresa lida com os recursos naturais.

De acordo com Gorman e Dzumbak (2018) foi instalada no complexo uma planta de energia solar que além do abastecimento interno gerou empregos, renda, e forneceu energia renovável à residentes locais. O projeto contou ainda com a renovação do sistema de bombeamento que acarretou em maior eficiência no uso de água, e a instalação de “capuzes” sintéticos no topo de fornos anódicos de forma a captarem emissões gasosas e as reutilizar. Houve também implementação de técnicas de fundição aprimoradas (*flash smelting* e *bath smelting*), reduzindo consumo de combustível fóssil e emissões de SO₂. Por fim, foi estabelecida uma parceria com a estação de tratamento de esgoto sanitário local, a qual fornecia biossólidos para auxiliar na revegetação da área utilizada nas operações da empresa.

Gorman e Dzumbak (2018) ainda trazem a informação de que em minas de cobre canadenses uma combinação de estratégias de redução de evaporação, otimização da disposição de barragens, pré-seleção mineral e reutilização de água geraram redução no consumo de água de 74%, ou, de 0,76 para 0,2 m³ de água por tonelada de minério de cobre.

No que tange o consumo energético de minas, de forma geral, Norgate e Haque (2010); Parameswaran (2016), *apud* Gorman e Dzombark (2018) propõem que a otimização do sistema de desmonte, a otimização da moagem e a recuperação e reutilização de calor gerado nos processos acarretariam uma redução de 12 a 40% no consumo de energia.

Nishimoto (2012) aponta para medidas econômicas e administrativas como pontos fortes de empresas de mineração em direção à EC. A presença da empresa no país detentor da reserva, por exemplo, já seria um fator que contribuiria para priorização da mineradora.

O apoio do Governo no acesso às reservas de dado mineral também é essencial, segundo Nishimoto (2012). No caso das exportações, a autora descreve que uma presença internacional seria bem vantajosa. Por fim, a autora cita a capacidade de investimento como ponto forte da empresa, já que o empreendimento de mineração é uma atividade que requer grandes investimentos e não somente, mas também a implementação da economia circular requer maiores investimentos quando comparada à tradicional linha de produção-consumo linear.

7.2 - Pontos fracos - W:

Lebre *et al.* (2018) destacam que as operações de tratamento de rejeito na mina de *Mount Morgan* terminaram prematuramente devido a oscilações de mercado, no caso queda no preço do ouro. Ademais, constataram dificuldades técnicas para viabilidade do projeto sendo experienciadas pela empresa. O cobre presente no rejeito reagia com cianetos (principal reagente utilizado na extração de ouro) e provocava consumo excessivo do reagente, além de diminuir a recuperação do ouro. As pilhas de rejeito também provocavam drenagem ácida que infiltrava no solo, atingindo e comprometendo as águas subterrâneas (Lebre *et al.*, 2018).

Em relação a uma organização anônima atuante em setores de base da economia globalmente de países como Estados Unidos, Brasil, China e Austrália, Nishimoto (2012) destacou que a inexperiência com a extração de um bem mineral, torna a aquisição da área por outra mineradora já estabelecida uma opção mais forte, o que configura um ponto fraco da empresa.

7.3 - Oportunidades - O:

Araya *et al.* (2020) conduziram um estudo de viabilidade econômica da produção de CRMs (Matéria-Prima Crítica) em 16 depósitos inativos de rejeito de minério de cobre na região de Antofagasta, Chile. Nele foram avaliadas a produção de

óxidos de terras-raras (REOs) e pentóxido de vanádio (V_2O_5) através do método DCF (Fluxo de Caixa Descontado). Os resultados obtidos foram valores positivos de NPV (Valor Presente Líquido) e IRR (Taxa Interna de Retorno), significando viabilidade econômica.

Contextualizando, o método de valorização DCF é usado para estimar a atratividade de dado investimento através de projeções acerca do fluxo de caixa disponível. Essas projeções são descontadas, muitas vezes utilizando a média ponderada do custo de capital, de forma a alcançar um valor presente desejável ao investidor (Mirakovski *et al.*, 2009).

Acerca do NPV e IRR, entende-se que o primeiro é a diferença entre o valor presente do capital que entra e o valor presente do capital que sai da empresa e que sua análise é sensível a confiabilidade de fluxos de caixa futuros (Mirakovski *et al.*, 2009).

IRR é a taxa de desconto utilizada no orçamento do capital que zera o valor presente líquido (NPV) do fluxo de caixa analisado (Mirakovski *et al.*, 2009). Em outras palavras, quanto maior o IRR mais atraente se torna o projeto a um investidor. Segundo Mirakovski *et al.* (2009), NPV e IRR são os métodos mais comumente utilizados na avaliação econômica de empreendimentos de mineração.

Das 51 minas de metálicos exauridas na Finlândia, segundo Kivinen (2017) 35% abrigam atividades culturais e recreativas como forma de reutilização das áreas mineradas. As atividades incluem: museus representando a história da mineração de ouro e cobre, vila de férias com tema da mineração, restaurantes, sede a vários eventos culturais e concertos, pista de *motorsport*; trilha “geológica-natural”, área de observação de pássaros, campo de golfe, campo de tiro, pista de corrida de galgos (raça de cachorro), pistas de *rally* e *mountain bike*, instalações militares, local de treinamento de bombeiros e escolas. (Kivinen, 2017).

Fergusson (2017) aponta para a utilização de ARR (resíduos da refinaria de alumina ou resíduo de lama de bauxita) na fabricação de concreto, tijolos e blocos, cerâmica, geopolímeros, agregados etc. Segundo o autor, sob uma ótica global, indústrias e projetos de agricultura e horticultura, fabricação de concreto, estações de tratamento de esgoto, instalações de compostagem, operações de aterro, fundições de chumbo e zinco, fábricas de gás, empresas de preservação de madeira, pedreiras,

operações de dragagem, operações de gaseificação de carvão subterrâneo, bio-refinarias, usinas elétricas a carvão e usinas siderúrgicas são beneficiadas pelo uso de ARR.

Na agricultura por exemplo, de acordo com Fergusson (2017) as ARRs têm se mostrado úteis a partir do momento que aumenta a máxima saturação do solo e o ajuda a reter fósforo, ressaltando a importância dos meios de comunicação direta entre as empresas e os *Stakeholders* (partes interessadas) nas fases de elaboração de projetos sustentáveis.

Araya *et al.* (2020) sugerem que pode haver viabilidade na produção de óxidos de terras-raras e pentóxido de vanádio a partir de rejeito de minério de cobre, além da oportunidade de extração de REEs (Elementos Terras Raras) de rejeitos, pois mesmo em pequenas quantidades pode apresentar viabilidade econômica dependendo do volume de rejeito. Ainda, se tratando de rejeito, Curry *et al.* (2014) ressaltam que uma vez no estado líquido ou pastoso, a depender da porcentagem de água, o rejeito dispensa “custos de mineração” (perfuração, desmonte, carregamento etc) que representam, em média, 43% do custo de operação em uma mina.

Kinnunen e Kaksonen (2019) também relatam que lamas e rejeitos aquosos podem conter quantidades significativas de metais. Para os autores a reutilização da área minerada como adega, hidroicultura (aquicultura) ou *resorts* turísticos armazenamento do rejeito para uso futuro trariam os melhores resultados em termos econômicos e ambientais. Não somente, mas os autores também adicionam que mudanças sociais podem transformar a viabilidade econômica de certos minerais. Tendências criadas ou perdidas na sociedade podem aumentar ou diminuir a demanda por certos produtos, logo, por certos minerais. Em relação a recuperação do minério em si, os autores apontam para a urgência por novas tecnologias para que até os rejeitos mais pobres possam ser processados.

Shen e Gunson (2006) abordam o tema ECD na mineração, sugerindo fortemente uma parceria entre mineradoras de grande, médio e pequeno porte, na qual as de menor porte explorariam recursos minerais em minas abandonadas pelas de grande e médio porte. Os métodos de produção mais flexíveis, menor custo de mão de obra e equipamentos menores (em geral) por exemplo tornam possível que a ASM (mineração artesanal e de pequeno porte) se instale em depósitos que as grandes empresas nunca considerariam.

Em 1995 por exemplo, 156 milhões de toneladas de carvão provenientes de 260 mil unidades de mineração de carvão abandonadas por SCOMs (Minas de Carvão Estatais) foram produzidas por SCMs (Minas de Carvão Pequenas) pequenas empresas, representando aproximadamente 27% da produção total nacional de carvão e 34% da produção de SCMs (Shen e Gunson, 2006). Em 2003 a ASM foi responsável por produzir 48% do carvão bruto e 100% do minério de ferro e caolinita de toda a região de Shahe (onde havia 290 minas ativas, sendo 286 de ASM).

No cenário Chinês e de outros países dependentes do carvão vegetal como fonte de energia, as ASMs contribuem para a conservação do meio ambiente ao fornecerem outros combustíveis minerais como substituição da lenha tradicional. Especificamente na China, isso resultou em uma grande diminuição do desmatamento, beneficiou, de forma geral a qualidade da água local e ofereceu suporte em controle de enchentes e mitigação de erosões (Shen e Gunson, 2006).

Ainda, segundo esses autores o capital acumulado das ASMs, nos últimos anos foi utilizado para desenvolver indústrias como da pecuária, farmácia, de conservação de água em terras agrícolas, fabricação de máquinas e vários outros empreendimentos públicos. A oferta de emprego local causada por ASMs ocasionou diminuição nas taxas de suicídio e criminalidade, reduziu o êxodo rural e aumentou a qualidade de vida das comunidades vizinhas (Shen e Gunson, 2006).

Sobre as inovações descobertas e implementadas em cada fase do ciclo de vida de uma mina, 7,1% destas se encontram na fase de exploração, 84,8% na fase de exploração e 8,1% na de fechamento. (Aznar-Sánchez *et al.*, 2019)

Bondaruk (2017) traz resultados positivos do projeto “MANAGER” (administração do fluxo de água para mitigar riscos ambientais no período pós-mina) o qual fez uso da técnica PAAPS (sistema de produção alcalino de ação periódica) como resposta a drenagem ácida da mina de carvão Janina, na Polônia. No mesmo projeto, segundo o autor, outros mecanismos passivos foram testados em laboratório e avaliados positivamente, são eles: uso de zeólitas naturais e sintéticas para remover traços do elemento rádio de fluxos aquosos e microalgas para remover metais pesados em geral.

O autor também menciona os projetos LoCAL e CEReS, ambos internacionais. O primeiro, desenvolvido e financiado pelo fundo europeu de pesquisa em carvão e ferro, trazendo a utilização de minas subterrâneas alagadas como fonte de calor e/ou

resfriamento como oportunidade de utilização para outros setores produtivos. O projeto contou com a instalação de uma planta piloto para extrair calor geotérmico de uma mina inundada em Bytom, Polônia. A água aquecida foi bombeada até prédios administrativos locais com ajuda de uma solução de 20% de propilenoglicol e lá passava por trocadores de calor de forma a efetivamente aquecer as salas dos edifícios. O projeto mostrou conformidade do processo, como um todo, com a política europeia de objetivos ambientais, a qual objetiva a redução de 20% da emissão de CO₂, além da redução de 20% no consumo energético e o aumento de 20% da utilização de fontes de energia renováveis.

O segundo projeto, CEReS, também financiado pelo fundo europeu de pesquisa em carvão e ferro, mostrou resultados que reforçaram a oportunidade de reutilização de rejeitos finos de carvão, como por exemplo na produção de cerâmica, na manufatura de “produtos de polímero de concreto” e na produção de granulares em geral.

Segundo Ivanova e Slavova (2019) é importante manter-se atualizado em relação à aplicabilidade dos métodos de mineração subterrânea, dada a situação em que a mina se encontra no momento. Isso e o reinvestimento dos lucros representam oportunidades a qualquer empreendimento desta natureza. Como foi o caso na mina de Chelopech, Bulgária, onde a implementação de um novo método de mineração e o reinvestimento de 90% dos lucros acarretou na melhoria e otimização do processo de preenchimento de realces, na modernização da planta de processamento, na melhoria no sistema de bombeamento e ventilação e na otimização do sistema de transporte de minério, que por sua vez, juntos, provocaram a redução da quantidade necessária de recursos naturais como água, energia, além de proporcionar a redução na geração de rejeito e a redução dos custos de operação e de revitalização da área degradada e riscos de forma geral (Ivanova e Slavova, 2019).

Giurco (2014) aponta para a falta de programas de reciclagem de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em cidades australianas. Segundo o autor tal prática levaria à diminuição de resíduos, geralmente tóxicos, enquanto proveria lucro a empresa recicladora, o que representa seguramente uma oportunidade à mineradoras ou terceiros que forneçam os resíduos a elas. Entretanto, o custo de implementação de uma planta de reciclagem de metais pode ser muito elevado, significando então distinta oportunidade, desta vez à exportação para países que já possuam a infraestrutura necessária, como foi o caso da Austrália nas décadas de 2000 e 2010 (Giurco, 2014).

Kinnunen (2019) coletou informações a respeito da “economia circular na valorização de rejeitos” através de um *workshop* e entrevistas semi-estruturadas cujos integrantes convidados foram gerentes de companhias de mineração, de tecnologia, de reciclagem e *experts* em matérias-primas de diferentes organizações de pesquisa e universidades. O autor expõe inúmeras oportunidades de se implementar a EC na mineração como formas de utilizar minérios cada vez mais pobres e atender à necessidade de envolvimento por parte da sociedade. Dentre as oportunidades destacaram-se a recirculação e/ou reutilização de insumos químicos na própria indústria e a utilização de rejeitos para produzir geopolímeros e escoamento dos mesmos para indústrias de fertilizantes e até mesmo para a aplicação direta na agricultura ou como cobertura do material disposto em pilhas, reduzindo a emissão de poeira.

Além de expor os pontos fortes da empresa ASARCO, Gorman e Dzombark (2018) também apontam oportunidades na implementação dessa abordagem gerencial, ou seja, de métodos e processos que corroboram para o sucesso de práticas circulares na mineração e não foram evidenciados em seu estudo de caso. Através de uma extensa revisão bibliográfica os autores constataram que a mineração conjunta de minerais secundários representa um forte fator a ser considerado em projetos futuros ou até mesmo em projetos próximos do término de sua vida-útil. Os autores também demonstram que, geralmente, o fornecimento de matéria-prima reciclada ocasiona no menor uso de energia e recursos para produzir o mesmo produto, apesar de sua aquisição ser mais custosa em relação à de matérias-primas virgens.

O ICM (2016) aponta que as práticas industriais lineares, utilizadas por maior parte das empresas nos últimos anos, acarretou em inúmeros danos à sociedade e ao meio ambiente. Hoje, evidenciam-se os danos em alterações climáticas globais, a escassez de recursos, a falta de água em locais que normalmente se tinha em abundância, a volatilidade nos preços do petróleo e outras *commodities* e a alta taxa de desemprego entre os jovens. Segundo o instituto, tais externalidades representam “um chamado para a economia circular” e mais, que futuramente o uso de práticas circulares na indústria seja uma obrigação legal.

A contribuição para com processos de economia circular, que por sua vez caracterizam-se por extrair, produzir, consumir, recuperar e reciclar materiais e recursos mais eficientemente, constitui prioridade no século 21. A maior oportunidade está em

preparar-se para trocas globais de demanda de minerais, ou melhor, na flexibilização da extração e processamento para minerais distintos (ICMM, 2016).

O ICMM (2016) enumera algumas práticas que devem ser seguidas por empresas que buscam modelar suas operações e processos em conformidade com a EC. São elas:

- Desenvolver infraestrutura de uso compartilhado para facilitar as operações e o desenvolvimento do projeto, além de otimizar o uso da área após a exaustão da mina.
- Percepção de tendências de mercado e consequentemente ajustes na previsão da demanda a longo-prazo.
- Ciência da disponibilidade de recursos atuais e futuras e do fluxo de material proveniente desses recursos, em âmbitos locais.
- Identificar os mercados demandadores do mineral.
- Utilizar políticas e infraestrutura suficientes para impedir a perda de material e proporcionar a máxima recuperação do mesmo, sempre que possível.
- Ter total conhecimento do potencial de reciclagem dos materiais, que é afetado pelo estado do mineral em sua devida aplicação, por exemplo se é usado na forma pura, dispersa, como liga em um multicomponente etc.
- Atentar-se ao preço de matéria prima, de máquinas, da legislação de uso da terra e economia locais.
- Identificar as impurezas ou os elementos tóxicos, que podem representar uma fonte de minerais para aplicações de baixo risco.
- Flexibilizar a concentração e a fundição do material original na expectativa de se obter uma maior variedade de minerais e metais, em resposta ao aumento na demanda por minérios finos (finos se refere ao material de diâmetro equivalente menor ou igual a 32 micrometros).
- Melhorar o entendimento do *design* e da aplicação dos produtos próprios.
- Elaborar novos modelos de negócios.

Outra oportunidade apontada por ICMM (2016) para empreendimentos próximos do fim de sua vida útil é a transformação da empresa de “fornecedor de produtos” para “fornecedor de serviços”, mediante o aluguel de seus materiais e recursos mantendo sua propriedade. Isso levaria o fornecedor a controlar melhor a

qualidade dos seus materiais e também a possuir a habilidade de recuperar tais materiais. Acredita-se que tal prática diminuiria o consumo de matéria para o mesmo fim.

Para Nishimoto (2012) a ciência do crescimento da demanda global de produtos agrícolas e de origem animal, devido ao crescimento populacional, representa oportunidades para a mineração de potássio. A autora chama atenção à disponibilidade de reservas e importação de produtos, pois pode ser uma oportunidade para suprir a demanda interna no caso do Brasil.

A busca por energias alternativas no Brasil, no caso, em resposta às fontes habituais como petróleo e carvão, estimulou o cultivo de cana-de-açúcar para a fabricação de etanol possibilitando a reposição de nutrientes do solo mais recorrentes, logo, representando um aumento da demanda de insumos fertilizantes como o fósforo e o potássio por exemplo (Nishimoto, 2012).

7.4 – Ameaças - T:

Singh (2020) identifica diversos fatores que constituem ameaças a implementação da economia circular no contexto da mineração na Índia. O autor divide as barreiras em financeiras, de mercado, políticas e de regulamentações governamentais locais, organizacionais e por fim operacionais. As barreiras financeiras são o alto investimento inicial requerido na transição de um modelo linear para um modelo de EC, problemas por parte de bancos para valorizar riscos e incertezas atrelados as práticas de EC e o alto investimento requerido para pesquisa e desenvolvimento (*R&D*), treinamento de funcionários e operações. Segundo o autor, a dinâmica de mercado na mineração é extremamente complexa pois varia dependendo de políticas locais ou mudanças climáticas por exemplo.

A baixa demanda por projetos de EC e falta de percepção no mercado de produtos sustentáveis também constituem barreiras à EC. Ambos os fatores tornam necessário um tratamento especial em relação ao *marketing* de produtos de EC. Singh (2020) cita, ainda, o uso intensivo de matéria-prima virgem em oposição à reciclada, uma vez que a reciclada deve ser processada e acarreta em custos adicionais. Percebe-se também uma uniformidade nos produtos disponíveis no mercado em oposição a

variabilidade de produtos, causa e consequência da EC. A variabilidade de produtos é algo almejado ao se implementar práticas de EC (causa) uma vez que tornaria a empresa mais preparada a alterações de demanda.

A infraestrutura especializada necessária a implementação de processos circulares e a falta de incentivo fiscal por parte dos governos, especialmente em países em desenvolvimento constituem barreiras governamentais (Geng e Doberstein, 2008, Xue *et al.*, 2010, *apud* Singh, 2010). No contexto indiano, juntamente com *experts* em mineração, o autor evidencia a falta de mecanismos de conformidade entre organizações e o governo e a falta de mão de obra especializada para os processos desejados como barreiras gerenciais.

Como barreira organizacional destaca-se a falta de mecanismos de medida da “circularidade” dos processos e organizações como índices, equações, indicadores de planejamento etc. Para Singh (2010), há precariedade no desenvolvimento de métodos de tal medida. Já como barreiras operacionais o autor cita o longo tempo para se alcançar a implementação plena da EC, a depender da infraestrutura, treinamento de empregados e desenvolvimento de técnicas.

Singh (2020) aponta ainda como barreira organizacional a dificuldade de empresas locais em estabelecer a rota de fabricação de produtos sustentáveis. A respeito do uso de tecnologia avançada (e.g. inteligência artificial, computação em nuvem, *blockchain* etc), ainda é muito raro em empreendimentos de mineração indianos. Por fim, Singh (2020) demonstra falta de integração entre processos e empresas na indústria mineradora, que é um requisito fundamental para o sucesso de práticas de EC.

Kivinen (2017) destaca que a contaminação ambiental da área da mina por metais pesados ou radiação pode limitar significativamente seu potencial de uso após a exaustão do minério.

No caso de minas subterrâneas, a subsidência representa mais um fator limitante ao potencial de reutilização da área, além da falta de confiança e de precisão de dados a respeito da condição e do grau de degradação da mina que também dificultam o processo de revitalização da área (Bondaruk, 2017).

Para Kinnunen e Kaksonen (2019), a ausência de incentivos fiscais para produção em cadeia circular e a discrepância de conhecimentos técnicos e

mineralógicos entre mineral-minério e o rejeito, constituem ameaças à implementação da EC no setor mineral. Além disso, estes autores apontam que a massa recuperável de minério do rejeito pode não ser economicamente viável, uma vez que o custo de implementação logística de uma planta de reprocessamento é, muitas vezes, inviabilizador em áreas remotas e que a transferência de responsabilidade e posse de rejeitos (pilhas ou barragens) é de extrema complexidade jurídica, o que pode restringir as oportunidades de negócios.

Ao se tratar de dificuldades relacionadas a empresas mineradoras de pequeno porte, Shen e Gunson (2006) destacam que para o desenvolvimento eficiente das ASMs (mineração artesanal e de pequeno porte) é necessária a criação de um sistema de leis e regulamentações apropriado e uma estrutura institucional direcionado a estas instituições.

Uma vez presente em uma área onde haja comunidades residindo, as empresas mineradoras devem empregar práticas de EC que atinjam contemplem positivamente as mesmas (Aznar-Sánchez *et al.*, 2019). Segundo os autores a simples presença de comunidades locais, sob a ótica da EC, pode representar uma ameaça devido aos riscos de impactos ambientais percebidos por estas comunidades (Govindan *et al.*, 2014, apud Aznar-Sánchez *et al.*, 2019).

Kinnunen (2019) expressa esperança de que futuramente as exigências legais para com sustentabilidade de processos sejam ainda maiores, uma vez que a alta capacidade tecnológica requerida a implementação da EC, que demanda grandes investimentos, representa uma dificuldade experimentada pelas empresas de mineração que iniciaram essa abordagem com suas atividades em andamento. Este autor, sugere fortemente a formação de uma parceria com outras empresas para processamento de resíduos gerados atualmente, já que muitas vezes há riscos presentes no manejo de rejeitos “antigos” (no caso daqueles cuja exploração não era viável economicamente, mas devido a oscilações de mercado, passou a ser). Ainda sobre os rejeitos e a importância dessa parceria entre empresas pode-se citar a dificuldade de caracterização dos mesmos, como uma barreira de implementação de técnicas ou processos segundo os princípios da EC.

Há, muitas vezes, segundo Kinnunen (2019), relatos de materiais “circulares”, ou seja, que supostamente poderiam retornar ao início da linha de produção, entretanto,

uma vez chegando ao fim de sua vida-útil, podem conter impurezas que inviabilizem sua reutilização.

Para Nishimoto (2012), o gargalo logístico de transportes, no Brasil representa não só um risco a implementação da EC em vários setores produtivos, mas à mineração como um todo. O transporte de carga em geral é deficiente devido à baixa capacidade dos modais existentes e dos investimentos insuficientes para a expansão e renovação de linhas férreas, principal meio de transporte de minerais como cloreto de potássio, ferro, carvão etc. Grande investimento e riscos de natureza física e financeira, inerentes à atividade de mineração também configuram ameaças (Nishimoto, 2012).

A alta geração de resíduos e outras formas de poluição, forte característica da mineração, constitui um risco à própria implementação, segundo ICMM (2016). Este instituto chama a atenção das empresas do setor ao apontar que se pode fazer mais para garantir que elementos-traço de algumas espécies minerais não sejam descartados, logo, não aproveitados, em barragens e outras formas de disposição de rejeitos. Riscos presentes para com a manutenção de ecossistemas locais também são apontados pelo instituto, como indicadores de alerta, uma vez que a atividade requer devastação temporária da área a ser minerada.

Gorman e Dzombark (2018) também enumeram alguns fatores que representam riscos à EC e a atividade mineral. São eles: poluição sonora, propensão do solo local a erosão, deslizamentos e tremores, perda na biodiversidade local e escoamentos hídricos pós-mina.

7 – CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi demonstrado neste estudo que atualmente a transição de um modelo linear para circular de produção-consumo exigirá um esforço por parte do governo, da população e dos próprios empreendimentos minerários que queiram abordar essa linha de gestão. Hoje, fatores como crescimento populacional, alterações climáticas, escassez de água a níveis locais e volatilidade no preço de minerais e petróleo dificultam ainda mais a implementação da EC (ICMM, 2016). Entretanto, como citado por Stahel (2016), já existem empresas pioneiras que incrementaram a circularidade nos seus sistemas produtivos: a NASA publicou há aproximadamente 10 anos que contrataria serviços de transporte espaciais, o que provocou uma corrida por parte de empresas para fornecer equipamentos inovadores, baratos e reutilizáveis; um exemplo dessa dinâmica é a empresa Umicore que inovou um sistema de extração de ouro e cobre de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos; outro exemplo é a Batrec, que extrai zinco, ferro e manganês de baterias usadas (Stahel, 2016).

Ao se tratar de políticas públicas, a Áustria diferencia-se dos outros países ao reformular a taxa sobre produtos reutilizáveis e recuperar seu valor através de “re-marketização” (Stahel, 2016). Desse modo as empresas teriam uma compensação financeira direta pelo investimento em direção à circularidade da cadeia de produção.

Há um cenário otimista onde cresce cada vez mais o número de artigos e pesquisas publicados na área de inovações sustentáveis na mineração. Entretanto, a alta e crescente taxa de publicação de artigos sobre ITSM (Inovação e Tecnologia para Mineração Sustentável), em relação a de minerais e mineração, pode significar que esse número ainda é baixo, ao se tratar de taxa de publicação e não de números de artigos (no caso, a menor das variações em números de artigos acarretaria em uma taxa muito elevada). A figura 4 mostra a taxa de crescimento de publicações de artigos sobre o tema ITSM em comparação ao tema “minerais e mineração”:

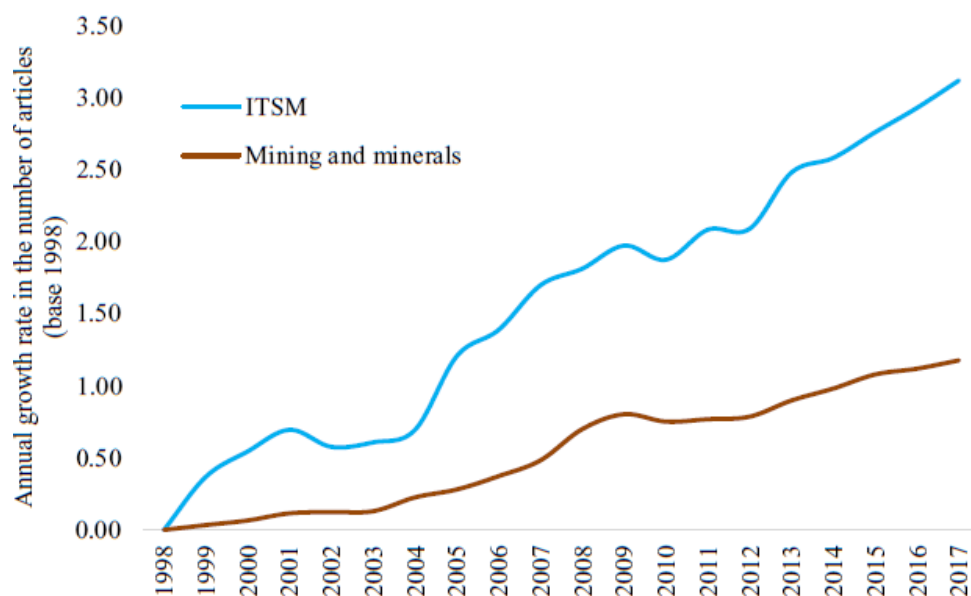


Figura 4 - Comparação entre número de artigos científicos produzidos sobre o tema ITSM e pesquisas sobre minerais e mineração.
Fonte: Aznar-Sánchez, 2019.

A transição será de certo lenta, mas imprescindível à longevidade do planeta Terra. Como cita Jonker (2018, p. 62):

Seja paciente. Para muitas empresas, circularidade significa fazer muitas coisas de maneira diferente. Isso não acontece muito rápido, não apenas porque a renovação leva à resistência, mas porque os modelos de negócios de trabalho desafiadores não são algo que se faz levemente. Também significa que a transição para a circularidade não pode ser tão rápida quanto todos esperam. Como empresário, você não pode substituir repentinamente todas as suas máquinas. Isso exigiria investimentos muito grandes e repentinos e levaria à destruição do capital. Nem todas as empresas têm dinheiro suficiente nas prateleiras para desenvolver novas formas de trabalhar. Especialmente se essas "novas formas de trabalhar" só levarão a lucros depois de alguns anos.

As empresas novas têm a oportunidade de implementar a EC no início dos seus processos, enquanto empresas mais antigas devem inovar e propor alterações nas linhas de produção definidas. No caso da mineração a transformação em direção a EC requer maiores conhecimentos acerca de fatores que afetam o modo como o rejeito é tratado, como por exemplo na caracterização mineralógica ou no próprio processamento. A consciência de que a circularidade é mais vantajosa economicamente, uma vez implementada, deve ser disseminada e comum aos empresários do ramo. Danos ambientais e à população, além de todas as desvantagens citadas, podem ocasionar em multas que por sua vez dificultam e atrasam ainda mais a implementação da EC.

A indústria mineral exerce um papel significativo em uma EC pelo fato de fazer parte do setor primário da economia, ou seja, fornece matéria-prima aos outros setores. Com isso, quanto maior o grau de impurezas da matéria-prima comercializada, mais facilmente reciclados ou reutilizados são os produtos. A mineração é a responsável por fornecer materiais valiosos, duráveis e recicláveis à sociedade de forma a enriquecer a qualidade de vida de todos envolvidos (ICMM, 2016). Segundo o instituto os minerais e metais caracterizam-se por nutrientes técnicos e já desempenham, em grande parte, uma circularidade na economia de hoje.

Este estudo destaca alguns itens que foram recorrentes em empresas e estudos distintos, tais como renovação e otimização dos sistemas de bombeamento de água e percepção de câmbios de demanda por certos minerais que foram citadas pela maioria dos autores como pontos fortes (S) e/ou oportunidades (O), o que ressalta a importância da participação conjunta do governo e da população para com as empresas.

O estudo ressalva que a geração de resíduos e possíveis danos às comunidades próximas aos empreendimentos mineiros, concomitantes ao alto investimento inicial de implementação da EC, constituem fortes ameaças, com aporte nos estudos de casos avaliados. Ainda como ameaça destaca-se a falta de incentivos fiscais e políticas públicas adequadas. Acredita-se que com um planejamento estratégico dentro dos procedimentos da análise SWOT, como o proposto por este trabalho, as empresas e seus respectivos tomadores de decisão consigam analisar a implementação da EC em seus processos mais facilmente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, W., FERREIRA, P., ARAÚJO, M. Challenges and pathways for Brazilian mining sustainability. **Resources Policy**, In Press, p. 1-12, mar. 2020

ALVES, W., FERREIRA, P., ARAÚJO, M. Sustainability Assessment of The Mining Sector In Brazil. In: 24th World Mining Congress, **Sustainability in Mining**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, p. 440-451, 2016.

ARAYA, N. *et al.* Design of Desalinated Water Distribution Networks: Complex Topography, Energy Production, and Parallel Pipelines. **Industrial & Engineering Chemical Research**, v. 57, p. 1-31, 2018.

ARAYA, N. *et al.* Towards mine tailings valorization: Recovery of critical materials from Chilean mine tailings. **Journal of Cleaner Production**, v. 263, p. 1-10, ago. 2020.

AZNAR-SÁNCHEZ, J. *et al.* Innovation and technology for sustainable mining activity: A worldwide research assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 221, p. 38-54, fev. 2019.

BHANDARI, D., SINGH, R.K., GARG, S.K. Prioritisation and evaluation of barriers intensity for implementation of cleaner technologies: framework for sustainable production. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 146, p. 156–167, out. 2019.

BLUSZCZ, A., KIJEWSKA, A. Challenges of sustainable development in the mining and metallurgy sector in Poland. **Metalurgija**, v. 54, p. 441–444, 2015.

BOHLING, K., MURGUÍA, D.I., GODFRID, J. Sustainability reporting in the mining sector: exploring its symbolic nature. **Business and Society**, v. 58, p. 191–225, 2017.

BONDARUK, J. **Comprehensive R&D Services To Enhance Management Of Mining And Post-Mining Resources Linked To Sustainability Rules**. Katowice, Polônia: Ed. Główny Instytut Górnictwa, 2018. 14 p.

BOTHA, R. **Caixa de Ferramentas de Fechamento de Mina**. 2 ed. Anglo American plc, 2013, 12 p.

BOULDING, K. E. The Economics of the Coming Spaceship Earth. In: JARRET, H. **Environmental Quality in a Growing Economy**. Baltimore, MD: Ed. Resources for the Future/Johns Hopkins University Press, 1966, cap. 1, p. 3-14.

BRADY, K. **Mining and Metals and the Circular Economy**. Edição por Earthy, R. London, U.K.: Ed. International Council on Mining and Metals (ICMM), 2016. 22 p. (ISBN: 978-1-909434-22-6)

CALAES, G. D. **Planejamento estratégico, competitividade e sustentabilidade na indústria mineral**: Dois casos de não metálicos no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Ed. CETEM / MCT / CNPq / CYTED, 2006, 242p. (ISBN: 85-7227-232-1)

CALAES, G. *et al.* Bases para o desenvolvimento sustentável e competitivo da indústria de agregados nas regiões metropolitanas do país – Parte 1. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 60, n. 4, p. 675-685, dez. 2007.

CASTILLA-GÓMEZ, J., HERRERA-HERBERT, J. Environmental analysis of mining operations: dynamic tools for impact assessment. **Minerals Engineering**, v. 76, p. 87–96, mai. 2015.

CAVALCANTE, L. A. S. *et al.* **Estudo de Caso – Desastre Ambiental da Barragem de Fundão na Cidade de Mariana-MG**. 2019. 57 f. Dissertação (Pós-Graduação *Lato sensu* em Desenvolvimento Local e Objetivos do Desenvolvimento Sustentável) – Escola Nacional de Administração Pública, Brasília, 2019.

COM – Comissão Européia. **Comunicação da Comissão Européia ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comitê Econômico e Social Europeu e ao Comitê das Regiões**. Fechar o ciclo: plano de ação da UE para a Economia Circular. Bruxelas: Ed. COM, 2015, 24 p.

CSIRO – Commonwealth Scientific and Industrial Research. More from less: getting the most from Australian ores. **Resourceful**, v. 7, 2015, p. 1-21.

CURRY, J. A. *et al.* Mine operating costs and the potential impacts of energy and grinding. **Minerals Engineering**, v. 56, p. 70-80, out. 2013.

DA CUNHA, A. M. B. M., GUEDES, G. B. **Mineração e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)**: o desafio da diversificação econômica em Itabira (MG). 1. ed. Rio de Janeiro: Ed. CETEM, 2017, 52 p., v. 94. (ISBN: 978-85-8261-079-4).

DE FREITAS, C. M. *et al.* Mining dam disasters: lessons from the past for reducing current and future risks. **Epidemiol. Serv. Saúde**, Brasília, v. 28, n. 1, 8 abr. 2019.

Ellen MacArthur Foundation. Towards the circular economy: Accelerating the Scale-up Across Global Supply Chains. **Journal of Industrial Ecology**, Cowes, Isle of Wight, v. 3, p. 1-16, 2014.

Ellen MacArthur Foundation. Towards the circular economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition. **Journal of Industrial Ecology**, Cowes, Isle of Wight, v. 1, p. 1-7, 2012.

FCAP JR. Consultoria. **Análise S.W.O.T.**: Como usar a matriz FOFA em seu planejamento estratégico? Disponível em: <<https://blog.fcnpjr.com.br/matriz->

fofa/?utm_source=google_ads&utm_medium=cpc&utm_campaign=trafic_blog_matriz_fofa#0-o-que-%C3%A9-a-matriz-fofa>. Acesso em: 18 mar. 2021.

FERGUSON, L. Industrial Sustainability and the Circular Economy as Counterparts to the Self-Referral Structure of Natural Law: Part II – A Global Case Study. **Open Science Journal**, v. 2, p. 1-21, dez. 2018.

GENG, Yong & DOBERSTEIN, Brent. Developing the Circular Economy in China: Challenges and opportunities for achieving ‘leapfrog development’. **International Journal of Sustainable Development & World Ecology**, v. 15, 2008, p. 231-239.

GIURCO, D. *et al.* Circular Economy: Questions for Responsible Minerals, Additive Manufacturing and Recycling of Metals. **Resources**, v. 3, p. 432-453, maio 2014.

GOLEV, A. *et al.* Where next on e-waste in Australia? **Waste management**, v. 58, 2016, p. 348-358.

GÓMEZ, N. A. A. **ADVANCES IN MINE TAILINGS AND WATER MANAGEMENT IN THE MINING INDUSTRY FOR CIRCULAR ECONOMY**. 2020. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processamento Mineral) – Departamento de Engenharia de Processamento Químico e Mineral, Universidad de Antofagasta, Antofagasta, 2020.

GORMAN, M. R., DZOMBAK, D. A. A review of sustainable mining and resource management: Transitioning from the life cycle of the mine to the life cycle of the mineral. **Resources, Conservation & Recycling**, v. 137, p. 281-291, jun. 2018.

GRAEDEL, T. Industrial Ecology: Definition and Implementation. In: Moonmaw, W. R. **Industrial Ecology and Global Change**. Editado por Socolow, R. *et al.* Cambridge: Ed. Cambridge University Press, 1994, cap. 3, p. 23-42.

HALLSTEDT, S., THOMPSON, A., & LINDAHL, P. Key elements for implementing a strategic sustainability perspective in the product innovation process. **Journal of Cleaner Production**, v. 51, p. 277–288, set. 2013. DOI 10.1016/j.jclepro.2013.01.043
Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652613000486?via%3Dihub>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

HARTMAN, H. L. e MUTMANSKY, J. M. **Introductory mining engineering**. 2 ed. Ansari Road, Daryaganj, New Delhi: Ed. Wiley India, 2002, 229 p. (ISBN: 81-265-1135-4).

HEIDER, M. Possible Scenarios of Future Production for Iron Ore. **In The Mine**, Ed. 62, p. 11-15, set. 2016. Disponível em: <https://www.inthemine.com.br/site/cenarios-de-producao-para-o-minerio-de-ferro-em-2030/>>. Acesso em: 17 mar. 2021

HESHMATI, A. **A review of the Circular Economy and its Implementation**. Bonn, Germany: Ed. IZA Discussion Papers, dez. 2015. 61 p.

HOBSON, K. Closing the loop or squaring the circle? Locating generative spaces for the circular economy. **Progress in Human Geography**, v. 40(1), 2015, p.88-104.

HOLCOMBE, S. **Woodlawn Mine site repurposing: Success factors, enablers and challenges**. Report for the Social Aspects of Mine Closure Research Consortium. Queensland, UK: Brisbane, 2020, 16 p.

HOROWITZ, Leah S. Section 2: Mining and sustainable development. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 307-308, dez. 2006. DOI 10.1016/j.jclepro.2005.03.005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/239365016_Section_2_Mining_and_sustainable_development>. Acesso em: 30 mar. 2021.

HORSLEY, J., *et al.* Sustainable livelihoods and indicators for regional development in mining economies. **Extractive Industries and Society**, v. 2(2), p. 368–380, 2015.

Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM). **Informações sobre a economia mineral brasileira 2020 - Ano base 2019**. 1.ed. Brasília: IBRAM, 2020. 80p. (ISBN: 978-65-990386-3-1)

IVANOVA, V., SLAVOVA, I. Corporate Environmental Responsibility within the Circular Economy Context: Opportunities for Development and Sustainability. **Economic Alternatives**, n. 2, p. 184-204, 2019.

JONKER, J. *et al.* **Organising for the Circular Economy: A workbook for developing Circular Business Models**. Doetinchem: OCF 2.0 Foundation, 2018, 80 p. (ISBN: 978-90-827024-6-0)

KINNUNEN, P. H.-M., KAKSONEN, A. H. Towards circular economy in mining: Opportunities and bottlenecks for tailings valorization. **Journal of Cleaner Production**, v. 228, p. 153-160, abr. 2019.

KINNUNEN, P. **Towards Circular Economy in the Mining Industry: Implications of Institutions on the Drivers and Barriers for Tailings Valorization**. 2019. 104 p. (Mestrado em Administração) - Faculty of Management and Business, Tampere University, Tampere, 2019.

KIVINEN, S. Sustainable Post-Mining Land Use: Are Closed Metal Mines Abandoned or Re-Used Space? **Sustainability**, v. 9, p. 1-18, set. 2017.

LÈBRE, É. *et al.* The Role of the Mining Industry in a Circular Economy: A Framework for Resource Management at the Mine Site Level. **Journal of Industrial Ecology**, v. 21, n. 3, p. 662-672, maio 2017.

LEWIS, B. **Atlas**: mapeando os objetivos de desenvolvimento sustentável na mineração. 1 ed. Genebra: Editado por Davidson, G. *et al.*, ago. 2017. 106 p. Disponível em: <www.br.undp.org/content/dam/brazil/docs/publicacoes/atlas-mineracao-ods.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2021.

LEWIS, R. S. 1964. **Elements of Mining**. 3 ed. New York: Ed. J. Wiley, 1964, 768 p., v. 11. (ISBN: 04-715-3331-9).

MIRAKOVSKI, D. *et al.* Mine Project Evaluation Techniques. **Natural resources and technologies**, Southampton, Inglaterra, v. 3, n. 3, 2009. ISSN 185-6966

MÜLLER, S., TUNÇER, B. **Greening SMEs by Enabling Access to Finance**: Strategies and Experiences from the Switch-Asia Programme. Scaling-up Study. Wuppertal, Germany: Ed. The Switch-Asia Network Facility, v.1, 2013. 75 p.

NEAGU, C. *et al.* A SWOT analysis of Romanian Extractive Industry and Re-Industrialization Requirements of This Industry. **Procedia Economics and Finance**, Bucharest, Romania, v. 22, p. 287-295, 2015. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212567115002889?via%3Dihub>>. Acesso em: 06 abr. 2021.

NEVES, A. C., *et al.* Neglect of ecosystems services by mining, and the worst environmental disaster in Brazil. **Ecology & Conservation**, p. 24–27, jun. 2016. DOI: 10.1016/j.ncon.2016.03.002.

NISHIMOTO, P. M. **Análise Estratégica da Indústria de Mineração Global**: Estudo Para Identificação de Oportunidades de Entrada. 2012. 132 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

OECD. **Guidance on Sustainability Impact Assessment**. Publicação OECD, 2010. 5 p. Disponível em < <https://www.oecd.org/greengrowth/48305527.pdf>>. Acesso em: 18 mar 2021.

PAULI, G. A. **Blue Economy**: 10 Years, 100 Innovations, 100 Million Jobs. Taos, New Mexico: Ed. Paradigm Publications, 2010. 336 p. (ISBN: 0912111909).

PEARCE, D.W. e TURNER, R.K. 1990. **Economics of Natural Resources and Environment**. Baltimore, Estados Unidos: Ed. John Hopkins University Press, 1990, 392p.

PERSEGONA, M. F. M. Análise Ambiental Utilizando a Matriz SWOT. **Nova Gestão**, Distrito Federal, v. 1, n. 1, p. 93-118, 2019.

RAUPP, E. *et al.* Gestão de Resíduos e a Análise SWOT: Estudo de Caso em uma Organização de Maquinaria Agrícola. **Scientia cum Industria**, v. 6, n. 3, p. 17-26,

2018.

RIBEIRO-DUTHIE, A. C., LINS, F. A. A Economia Circular e sua relação com a Mineração. **Brasil Mineral**, set. 2017.

S. I. HALLSTEDT, A. W. THOMPSON, P. LINDAHL. Key elements for implementing a strategic sustainability perspective in the product innovation process, **Journal of Cleaner Production**, v. 51, p. 277-288, jan. 2013. ISSN 0959-6526

SHEN, L., GUNSON, A. J. The role of artisanal and small-scale mining in China's economy. **Journal of Cleaner Production**, v. 14, p. 427-435, 2006.

SINGH, R. K. *et al.* Managing operations for circular economy in the mining sector: An analysis of barriers intensity. **Resources Policy**, v. 69, p. 1-10, dez. 2020. DOI: 10.1016/j.resourpol.2020.101752

SINGH, R. K., *et al.* An overview of sustainability assessment methodologies. **Ecological Indicators**, v. 9(2), p. 189–212, 2009.

STAHEL, W. Economy without waste: what are the challenges and opportunities of moving towards a circular economy? **Sustainable Goals**, p. 100-103, mar. 2017.

STAHEL, W. R. **Performance Economy**. 2 ed. Hampshire, England: Ed. PALGRAVE MACMILLAN, 2010, 299 p. (ISBN: 978-0-230-58466-2)

STAHEL, W. R. The circular economy. **Nature**, v. 531, p. 435-438, 24 mar. 2016. DOI 10.1038/531435a. Disponível em: <<https://www.nature.com/news/the-circular-economy-1.19594>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

STAHEL, W. R. The Product-Life Factor. In: ORR, S. G. *et al.* **An Inquiry Into the Nature of Sustainable Societies: The Role of The Private Sector**. Houston, TX: Ed. Houston Area Research Center, 1982, cap. 4, p.72-105.

Tribunal de Justiça de Santa Catarina. **Planejamento Estratégico Institucional**. Conceitua termos diversos. Disponível em: <https://www.tjsc.jus.br/web/gestao-estrategica/planejamento-estrategico-institucional>. Acesso em: 10 maio 2021

UNITED NATIONS. **Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development**. Disponível em: <<https://sdgs.un.org/2030agenda>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

VAN ODIJK, S. *et al.* **Circular Construction: The Foundation Under a Renewed Sector**. Amsterdam, Holanda: Ed. ABN AMRO, 2014, 83 p.

WAUTELET, T. The concept of circular economy: its origins and its

evolution. **Research Gate**, v. 10, p. 1-23, jan. 2018.

ZVARIVADZA, T. Sustainability in the mining industry: An evaluation of the National Planning Commission's diagnostic overview. **Resources Policy**, v. 56, p. 70-77, mar. 2018.