

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Inovação no Setor de Mineração e suas Implicações para o Desenvolvimento Sustentável

Michael Marques



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado em Inovação e Empreendedorismo Tecnológico

Orientadora: M^a Cristina Machado Guimarães (Doutora)

Julho de 2020

Resumo

Esta tese tem o foco nas inovações na indústria de mineração com base nos desafios do setor para atender as metas acordadas pela Organização das Nações Unidas, mais especificamente da Agenda 2030. O endurecimento da legislação e a pressão social têm forçado as empresas de mineração a aumentar as iniciativas de melhoria de negócios e soluções inovadoras, a fim de manter o desenvolvimento sustentável. O setor necessita de intervenções significativas, capazes de superar os desafios atuais. Para se alcançar os objetivos da pesquisa na sua base conceitual foi revista a literatura sobre sustentabilidade, inovação tecnológica e particularidades do setor de mineração. Suportado pela base conceitual foi realizado um estudo qualitativo, com base principalmente nas evidências retratadas nas entrevistas, a partir de um estudo de caso individual em profundidade na Vale S/A. A pesquisa evidenciou que a Vale tem buscado inovar em seus processos, buscando novas tecnologias que tornem o negócio sustentável. A empresa possui metas desafiadoras, entre as quais a de reduzir a emissão de CO₂ em 33% até 2030 e tornar-se carbono neutro até 2050 de forma a reduzir o impacto das suas atividades no aquecimento da temperatura do planeta. Apesar do setor de mineração ser reconhecidamente um setor conservador, a Vale tem buscado tecnologias um pouco mais disruptivas equalizando o portfólio de projetos para alcance dos objetivos.

Palavras-chave: sustentabilidade, inovação, inovação tecnológica, mineração.

Abstract

This thesis focuses on innovations in the mining industry based on the challenges of the sector to meet the goals agreed by the United Nations, more specifically the Agenda 2030. The tightening of legislation and social pressure has forced mining companies to increase business improvement initiatives and innovative solutions in order to maintain sustainable development. The sector needs significant interventions, capable of overcoming current challenges. To achieve the research objectives on its conceptual basis, literature on sustainability, technological innovation and particularities of the mining sector were combined. Supported by the conceptual basis, a qualitative and inductive study was carried out, based mainly on the primary evidence collected from interviews based on an in-depth individual case study at Vale S / A. The survey showed that Vale has sought to innovate in its processes, seeking new technologies that make the business sustainable. One of the main goals is to reduce CO₂ emissions by 33% by 2030 and it becomes carbon neutral by 2050 in order to reduce the impact of its activities on warming the planet's temperature. Although the mining sector is recognized as a conservative sector, Vale has been looking for slightly more disruptive technologies to reach its objectives.

Keywords: sustainability, innovation, technological innovation, mining.

Agradecimentos

Primeiramente a minha esposa Vanessa pelo incentivo e suporte incondicional para realização do mestrado. Ao meu amado filho Lucas que me mostrou que não existem limites para a criação da natureza.

A guerreira, minha mãe Conceição que sempre me mostrou que o conhecimento era o caminho.

Aos professores do MIETE e minha orientadora Cristina.

Os entrevistados da Vale que confiaram no meu trabalho e foram fundamentais para elaboração dessa pesquisa.

Meu muito obrigado!

Conteúdo

<i>Lista de Tabelas.....</i>	<i>vi</i>
<i>Lista de Figuras</i>	<i>vii</i>
<i>Abreviaturas.....</i>	<i>viii</i>
1. Introdução	1
1.1 Objetivos do estudo	1
1.2 Objetivo específico	2
1.3 Justificativa do estudo	2
2. Revisão Bibliográfica	5
2.1 O Setor de mineração	6
2.2 Sustentabilidade do setor de mineração	7
2.3 Inovação tecnológica orientada à sustentabilidade.....	11
2.4 Utilização de alta tecnologia na mineração	12
3. Metodologia	15
3.1 Estratégia de Pesquisa	15
3.2 Caso Único	16
3.3 Unidade de Análise.....	17
3.4 Método de Recolha de Informação	17
3.5 Técnica de análise e tratamento dos dados.....	18
4. Estudo do caso Vale S/A	20

4.1	Dados gerais da Empresa.....	20
4.2	Vale e a sustentabilidade.....	22
4.3	Vale e a Agenda 2030	24
4.4	Criando um setor de mineração sustentável, adotando a inovação	27
4.5	Gestão da inovação	29
4.6	Inovação Tecnológica e Processo de Adoção na Vale	32
4.7	Contribuições Práticas.....	42
5.	<i>Conclusão</i>	44
6.	<i>Referências Bibliográficas</i>	46
7.	<i>ANEXO I – ROTEIRO DE ENTREVISTA</i>	49

Lista de Tabelas

Tabela 1 - As 10 maiores empresas de mineração em valor de mercado.	6
Tabela 2 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável	9
Tabela 3 - Exemplos de inovações tecnológicas no setor da mineração.	13
Tabela 4 - Exemplos de inovações em empresas de mineração.....	14
Tabela 5 - Métodos de obtenção de informações.....	18
Tabela 6 - Metas Socioambientais Vale - Agenda 2030.....	26
Tabela 7 - Tabela KPI de sustentabilidade	27
Tabela 8 - Triangulação entre entrevistas com funcionários da Vale, dados secundários e a literatura.	43

Lista de Figuras

Figura 1 - Número de artigos publicados sobre inovação na mineração.	3
Figura 2 - Assuntos citados entre os anos de 2009-2016.....	3
Figura 3 - Tipos básicos de projetos para estudo de caso.....	16
Figura 4 - Nuvem de codificação induzida.	19
Figura 5 - Atuação Global da Vale.....	20
Figura 6 - Receita operacional líquida por produto.....	21
Figura 7 - Distribuição dos empregados próprios e terceiros por região.	22
Figura 8 - Revisão das metas de redução de emissão de <i>greenhouse gases</i> (GHG).	23
Figura 9 - Matriz de Materialidade 11 temas prioritários para a Vale.	25
Figura 10 - Roadmap tecnológico.	30
Figura 11 - Cadeia produtiva minério de ferro.	32
Figura 12 - Meta de médio prazo para reduzir 33% das emissões do escopo 1 e 2 até 2030.	33
Figura 13 - Maturidade dos projetos para redução de emissão de CO ₂	36
Figura 14 - Emissões de GHG da Vale em 2018.	37
Figura 15 - Solução wind engines.	39
Figura 16 - Hélice padrão e com o dispositivo PBCF.....	39
Figura 17 - Interações da tecnologia com as demais dimensões da sustentabilidade.....	41

Abreviaturas

AI	Inteligência Artificial
COP	Conference of the Parties
GEE	Gases de efeito estufa
GHG	Greenhouse gases
GRI	Global Reporting Initiatives
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Clima
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas

Capítulo 1

Introdução

Esta tese tem o foco nas inovações na indústria de mineração com base nos desafios do setor para atender as metas acordadas pela Organização das Nações Unidas (ONU), mais especificamente da “Agenda 2030”. Utilizando-se de um estudo de caso único, esse estudo explica como o setor de mineração está se mobilizando no sentido de criar oportunidades de desenvolvimento tecnológico e o quão importante é a adoção de inovação nos seus processos.

A motivação do presente estudo é primeiramente mudar o foco das discussões em torno da atividade de exploração de minérios. Este debate nos últimos anos teve, em sua maioria, um olhar apenas dos impactos negativos, principalmente na sociedade e no meio ambiente, como a teoria da maldição dos recursos naturais. Essa teoria afirma que os países detentores de recursos naturais tem menor crescimento econômico e desenvolvimento social (Pamplona & Cacciamali, 2018), mesmo sendo uma atividade considerada essencial para sobrevivência da atual humanidade (Figueiredo & Piana, 2016).

1.1 Objetivos do estudo

O objetivo do estudo é de identificar a aplicação de novas tecnologias no setor de mineração tendo como base iniciativas que contribuem para dar resposta aos desafios da sustentabilidade do setor.

1.2 Objetivo específico

O estudo demonstra a tendência das empresas de mineração na implementação de inovação tecnológica orientada à sustentabilidade correlacionado à atividade fim - lavra, beneficiamento, estocagem e transporte do minério - dando resposta as questões de investigação:

- Como a inovação tecnológica está mudando/ajudando a mineração, indústria considerada de baixa tecnologia, a tornar seus processos sustentáveis?
- Como a mineração está caminhando pela trajetória delineada pela conjuntura mundial no âmbito do desenvolvimento sustentável?

No decorrer do trabalho será demonstrado, de maneira prática, as inovações tecnológicas adotadas nas empresas de mineração e a relação com as metas de desenvolvimento sustentável propostas pela Organização das Nações Unidas chamado “Agenda 2030”. O objetivo dessa agenda é ter um novo acordo com a sociedade estabelecendo metas desafiadoras de sustentabilidade adequadas para que seja restringido o aquecimento global e melhore a qualidade de vida das pessoas.

Portanto, levando em consideração as questões a serem respondidas, a importância de estudar reposicionamento do setor e a revisão de literatura que serviu como base de ponto de partida a esta investigação, foi realizado um estudo de caso da mineradora Vale S.A no intuito de ilustrar quais são as iniciativas da empresa no âmbito das inovações que tenham orientação para a sustentabilidade.

1.3 Justificativa do estudo

A atividade de mineração está associada a muitos desafios que podem ter um caráter técnico no que tange a produção, ambiental e humano com seus impactos ao meio ambiente e às comunidades em torno das minas. Assim como em todos os campos de conhecimento, inovação é a palavra de ordem e na mineração não seria diferente. Existe a necessidade de se inovar de forma a adotar novas práticas na indústria mineral (Luz, Sampaio, França, 2010).

Por vários anos, quase não houve interesse em examinar, no contexto da mineração, como é feito a adoção e o compartilhamento de tecnologias pelo setor. Em uma pesquisa realizada por Gruenhagen e Parker (2020), foram encontrados apenas 27 artigos de relevância publicados sobre o tema nos últimos anos como ilustra a Figura 1, o que não significa que não houve inovação, por isso ele sugere que estudos adicionais devem aplicar uma lente contextual sobre inovação no setor de mineração. Em contra partida, muitos trabalhos abordam a visão negativa do setor, como a maldição dos recursos naturais, precarização as condições de trabalho, os impactos causados pelas atividades, etc., (Figueiredo & Piana, 2016).

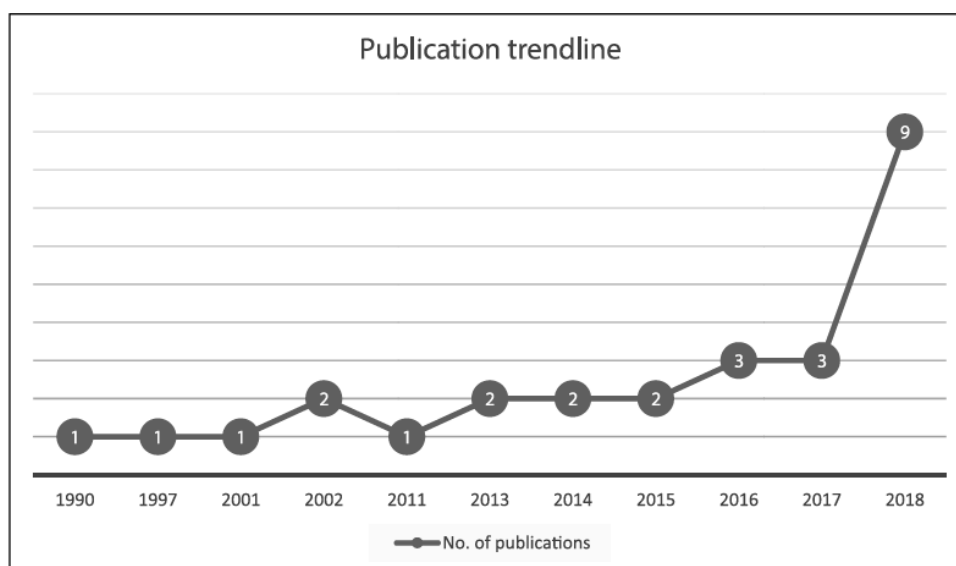


Figura 1 - Número de artigos publicados sobre inovação na mineração. Parker, (2019)

Karakaya e Nuur (2018) também reforçam que o assunto inovação não está entre os assuntos mais citados dentro da literatura sobre o setor de mineração. Entre os anos de 2009 e 2016, os temas mais citados na literatura que aborda o setor de mineração estão ligados a licença social de operação, a responsabilidade social das empresas, a criticidade de minérios das terras raras e os impactos ambientais, sendo inovação (desenvolvimento tecnológico, automação e pesquisa e desenvolvimento (P&D)) entre os menos citados conforme pode ser observado na Figura 2. Partindo desse pressuposto, da falta de abordagem do tema inovação no setor de mineração, mesmo sendo inovação uma palavra de ordem para que a mineração siga o caminho do desenvolvimento sustentável (Mackay & Bangerter, 2006), reforça a necessidade de estudos adicionais sobre o tema.

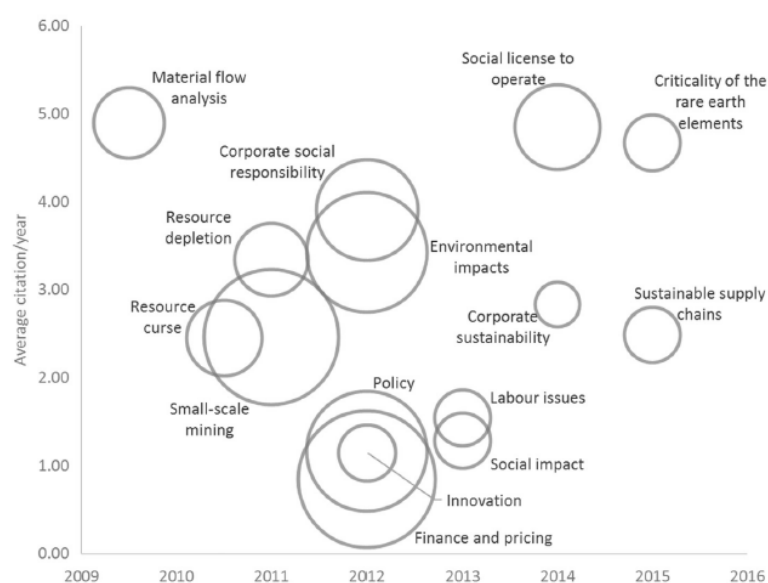


Figura 2 - Assuntos citados entre os anos de 2009-2016. (Karakaya & Nuur, 2018)

É importante salientar que a sustentabilidade possui diferentes aspectos dentro de vários contextos. Segundo Segura-Salazar e Tavares (2018) os desafios da sustentabilidade na indústria mineral podem ser dividido em cinco dimensões:

- Sociedade (comunidade, trabalhadores, ONGs, etc.);
- Sistema Econômico (ou Economia);
- Ambiente Natural (Ecosfera = Geosfera + Biosfera);
- Tecnologia (ambiente artificial, artefatos ou tecnosfera); e
- Governança (incluindo liderança pública / política e privada / corporativa).

Todos esses componentes interagem e devem ser equilibrados em diferentes escalas de tempo e localização espacial. Como tal, a sustentabilidade na indústria de mineração deve adotar cada uma dessas escalas, caso contrário, pode-se dizer que a sustentabilidade não pode ser garantida. Isso levaria a uma fraca sustentabilidade. Neste trabalho, no âmbito do curso de mestrado em Inovação e Empreendedorismo Tecnológico da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, foi dada ênfase na dimensão da tecnologia e como ela interage com as demais dimensões.

Para se alcançar os objetivos da pesquisa na sua base conceitual foi combinado literaturas de sustentabilidade, inovação tecnológica e particularidades do setor de mineração. Suportado pela base conceitual foi realizado um estudo qualitativo com base principalmente nas entrevistas com empregados a partir de um estudo de caso individual na Vale S/A.

Este documento está subdividido em cinco capítulos. O primeiro capítulo é composto pela introdução que expõe os objetivos específicos do estudo com as questões a serem respondidas, a justificativa do estudo além das motivações que levaram à realização da pesquisa. No segundo capítulo o documento traz a revisão da literatura que construiu a base conceitual para o estudo. No terceiro capítulo foi detalhado o método de pesquisa aplicado no estudo. No quarto capítulo está todo o corpo do trabalho que traz as evidências coletadas e contribuições práticas da pesquisa e, por fim, o quinto capítulo encerra o estudo com as conclusões assim como as limitações do estudo e sugestões para pesquisas futuras.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

A identificação e seleção de artigos a serem incluídos na revisão seguiu um processo sistemático para compilar uma avaliação imparcial e uma visão geral do estado atual do conhecimento. Com base no objetivo de pesquisa foi realizada a busca de artigos em três etapas, utilizando o banco de dados do Scopus, com foco no título (*TITLE-ABS-KEY (innovation) AND TITLE-ABS-KEY ("mining industry")*) e palavras-chave (*AND KEY("responsible innovation" OR sustain*)*). Foi excluída a palavra “*data mining*” que retorna vários artigos, mas não referente ao assunto da indústria da mineração. Nessa etapa foram selecionados 59 artigos. Na segunda etapa, os resumos dos artigos foram avaliados para verificar se estavam relacionados com o assunto de interesse. Com base nessa avaliação, 16 artigos foram considerados relevantes para a pesquisa e 43 foram excluídos da lista pois não estava relacionado diretamente com sustentabilidade ou inovação na mineração. Os 16 artigos restantes foram inspecionados na sua plenitude. Numa terceira etapa foram incluídos mais 6 artigos considerados relevantes por serem citados em alguns dos 16 artigos examinados de forma completa. Assim, a nossa seleção final compreende 22 artigos que relatam a importância da inovação no processo de sustentabilidade do setor de mineração para embasamento do estudo e identificação das lacunas relativos aos assuntos aqui abordados. Vale ressaltar que após a identificação das lacunas de interesse, a revisão de literatura não se limitou aos 22 artigos, mas sim se aprofundou para melhor elucidação dos assuntos abordados através de consultas a bibliotecas virtuais de universidades, sites especializados, sites governamentais e de organizações internacionais.

2.1 O Setor de mineração

A atividade de mineração engloba os processos de pesquisa, extração, beneficiamento, armazenagem e transporte de minérios de forma economicamente viável (Mesquita, Carvalho, & Ogando, 2016).

A mineração é uma atividade industrial considerada essencial para manutenção de desenvolvimento da sociedade moderna. Através dos minérios extraídos das minas são produzidos os metais essenciais para a humanidade. Pode-se dizer que sem a mineração a civilização atual, tal como a conhecemos, pura e simplesmente não existiria. No dia-a-dia é fácil encontrar produtos e materiais que têm origem na atividade da mineração como equipamentos elétricos, computadores, cosméticos, infraestrutura (Luz, Sampaio, & França, 2010). Existe uma estimativa que o setor de mineração movimentou mais de 1,1 trilhão de dólares em comercialização em 2016 (Crowson, 2019). Para ilustrar o tamanho desse setor a tabela 1 lista o valor de mercado das dez maiores empresas de mineração com ações listadas na bolsa de valores de Nova York que juntas somam mais de 500 bilhões de dólares (DiLallo, 2019).

Tabela 1 - As 10 maiores empresas de mineração em valor de mercado.

Empresa de Mineração	Capitalização	Commodities Produzida
1. BHP Group (NYSE: BHP)	\$129 Bilhões	Cobre, minério de ferro, carvão, níquel, zinco, petróleo e gás natural
2. Rio Tinto (NYSE: RIO)	\$89.2 Bilhões	Alumínio, minério de ferro, cobre, diamante, urânio e outros minerais
3. Vale (NYSE: VALE)	\$59.4 Bilhões	Minério de ferro, cobre, níquel, carvão e manganês
4. Glencore (OTC: GLCNF)	\$43.5 Bilhões	Carvão, cobre, níquel e zinco
5. China Shenhua Energy (OTC: CSUAY)	\$40.9 Bilhões	Carvão.
6. MMC Norilsk Nickel (OTC: NILSY)	\$39.6 Bilhões	Níquel, paládio, cobre, platina
7. Newmont Goldcorp (NYSE: NEM)	\$32.7 Bilhões	Ouro
8. Anglo American (OTC: NGLOY) (LSE: AAL)	\$32.4 Bilhões	Diamante, cobre, carvão, minério de ferro, níquel e manganês
9. Barrick Gold (NYSE: GOLD)	\$32.3 Bilhões	Ouro e cobre
10. Grupo Mexico (OTC: GMBXF)	\$18.6 Bilhões	Cobre.

Fonte de dados: PwC, YCharts e sites da empresa. Os dados de limite de mercado estão atualizados em meados de setembro de 2019. (DiLallo, 2019).

Considerando os aspectos econômicos, a indústria de mineração ocupa um lugar de destaque na economia mundial principalmente para países em desenvolvimento. Esse setor é um grande empregador e tem uma grande importância na redução da pobreza e desigualdades sociais. Com isso as empresas de mineração acabaram adquirindo um protagonismo no cumprimento de metas acordadas internacionalmente, inclusive os “*Objetivos do Desenvolvimento do Milênio*” (Assembly, 2012).

Apesar de notadamente essencial, a atividade de mineração sempre foi vista como uma atividade deletéria ao meio ambiente e por vários anos quase não houve interesse em examinar a difusão e adoção de inovação especificamente no contexto da mineração. No entanto, a inovação pode ser um dos principais caminhos na indústria mineral para que a atividade possa ser executada com um propósito de contribuir para um desenvolvimento sustentável (Mackay & Bangerter, 2006).

2.2 Sustentabilidade do setor de mineração

Nos últimos anos, o endurecimento da legislação e a pressão social forçaram as empresas de mineração a aumentar as iniciativas de melhoria de negócios e soluções inovadoras, a fim de manter o desenvolvimento sustentável. Atualmente ecoa no mundo da mineração que a indústria precisa modernizar-se. De maneira geral, a modernização das minas tem que trazer mudanças dos processos, tecnologias, conjuntos de habilidades e impactos sociais e ambientais associados às práticas atuais de mineração (Singh, 2017). As tendências do setor nas últimas décadas indicam que, sem mudanças e intervenções significativas, o setor de mineração não será capaz de superar os desafios atuais. Dado esse cenário, a inovação tecnológica pode ser considerada como um fator crucial que tem o poder não apenas de impactar e resolver os problemas atuais, mas também pode levar a uma indústria mais sustentável e economicamente próspera (Lazarenko, Garafonova, Grigashkina, & Verezomska, 2019). Nesse sentido pode-se destacar que a indústria mineral precisa ser mais eco-eficiente no sentido de utilização ambientalmente sustentável dos recursos naturais finitos (Mackay & Bangerter, 2006).

Existe uma série de visões de sustentabilidade na literatura ligadas a diferentes campos de atividade. Um dos conceitos muito encontrado na literatura é o modelo *Triple Bottom Line* (TBL). Esse conceito busca um equilíbrio e uma integração adequada das três dimensões sendo elas social, ambiental e econômica. Segundo Elkington e Rowlands (1999), o principal desafio reside na interação entre os resultados, definidos pelo autor como zonas de cisalhamento: ecoeficiência (interação econômico-ambiental), justiça ambiental (interação socioambiental) e ética nos negócios (interação socioeconômica).

Na agricultura, por exemplo, a sustentabilidade é considerada uma propriedade, a capacidade de um agroecossistema de manter a produtividade quando submetida a uma grande força perturbadora (Conway, 1987). A sustentabilidade também pode significar uma meta do desenvolvimento de políticas nos níveis global, nacional e local. Ela pode servir como um valor, vivendo em harmonia com o meio ambiente, sem causar danos, protegendo-o e salvaguardando o planeta. Muitas vezes a sustentabilidade está ligada a uma ação, como reciclagem, compostagem, redução do uso de energia, desenvolvimento de biocombustíveis, produção de alimentos orgânicos e minimização da pegada ambiental. Outra consideração é que sustentabilidade é ciência, fornecendo uma estrutura para o entendimento sistemático das interações entre sistemas humanos e ambientais (Clark, 2007).

Procurando convergir os conceitos de sustentabilidade Brundtland, Khalid, Agnelli, Al-Athel, e Chidzero (1987) definem bem o conceito de desenvolvimento sustentável “como um processo que atende às as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações”. Moles, Foley, Morrissey, e O'Regan (2008), complementam de forma satisfatória o

conceito de Brundtland et al. (1987) quando dizem que sustentabilidade é “uma situação futura inspiradora” e o desenvolvimento sustentável é “o processo pelo qual passamos o atual *status quo* em relação a esta situação futura”. Simplificando, desenvolvimento econômico para um melhor padrão de vida é o principal objetivo para o bem-estar humano, mas garantir que essas atividades não sejam prejudiciais para as condições sociais e ambientais é extremamente importante para desenvolvimento sustentável.

O estudo da sustentabilidade tem recebido cada vez mais atenção mundial, devido a crescente preocupação ambiental e desigualdade socioeconômica, ambos em grande parte resultantes de um modelo econômico que priorizou os lucros. Atualmente é nítido que a humanidade precisa adotar medidas para alterar os padrões de produção e consumo atualmente insustentáveis. O setor de mineração desempenha um papel fundamental nesse contexto, tendo recebido atenção por meio de várias iniciativas nas últimas décadas (Segura-Salazar & Tavares, 2018).

Trazendo o tema da sustentabilidade como fator preponderante para a evolução do setor mineral, pode-se contextualizar que as empresas de mineração têm enfrentado alguns dos mais difíceis desafios de sustentabilidade de qualquer setor industrial (Azapagic, 2004). Embora benéficas para o desenvolvimento socioeconômico, as atividades de mineração causam muitos efeitos adversos nas condições sociais e ambientais. Os principais desafios para governos, empresas de mineração e comunidades são: (i) como equilibrar benefícios socioeconômicos e condições socioambientais (Worrall, Neil, Brereton, & Mulligan, 2009); e (ii) como fornecer informações úteis para apoiar os tomadores de decisão na determinação de quais ações devem ou não ser tomadas para melhorar efetivamente a sustentabilidade do setor de mineração (Haberl, Wackernagel, & Wrbka, 2004).

Um agente que tem liderado os debates em relação ao desenvolvimento sustentável e também dado foco diretamente a assuntos relacionados à extração de recursos naturais tem sido a Organização das Nações Unidas (ONU). A ONU tem dado ênfase na mitigação das mudanças climáticas através da incorporação de fontes limpas de energia na matriz energética global. Essas diretrizes começaram a ganhar maior visibilidade e impacto através da consolidação do Painel Intergovernamental sobre Clima (IPCC) em 1988, e de importantes tratados internacionais como o Quadro das Nações Unidas Convenção sobre Mudanças Climáticas (da Eco-92) e o Protocolo de Kyoto (Segura-Salazar & Tavares, 2018). Todos os anos, mas precisamente desde 1994 os países membros da ONU se reúnem na chamada Conference of the Parties (COP) para tomar decisões em relação ao efeito estufa. No ano de 2015, ocorreu a COP21 com a participação de 195 países onde foi negociado o acordo de Paris. Esse acordo buscou um consenso entre os países para a redução de emissão gases que causam o efeito estufa (GEE) até 2030 (Mesquita et al., 2016).

“O futuro da humanidade e do nosso planeta está em nossas mãos. Também está nas mãos da geração mais jovem de hoje, que vai passar a tocha para as gerações futuras. Temos mapeado o caminho para o desenvolvimento sustentável; será para todos nós, para garantir que a jornada seja bem-sucedida e seus ganhos irreversíveis.”(Mundo, 2016)

A Agenda 2030 é constituído por ações que irão beneficiar as pessoas e o planeta. Essa ações englobam 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) principais, listados na Tabela 2, os quais são desdobrados em 169 metas integradas e indivisíveis. As metas abordam o desenvolvimento sustentável de forma que todas as dimensões sejam atendidas de forma equilibrada (a econômica, a social e a ambiental), com medidas desafiadoras e transformadoras que são prioritárias para redirecionar a humanidade para um caminho de desenvolvimento sustentável (Mundo, 2016).

Tabela 2 - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
Objetivo 1. Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares
Objetivo 2. Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável
Objetivo 3. Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades
Objetivo 4. Assegurar a educação inclusiva e equitativa e de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos
Objetivo 5. Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas
Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos
Objetivo 7. Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos
Objetivo 8. Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo e trabalho decente para todos
Objetivo 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação
Objetivo 10. Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles
Objetivo 11. Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis
Objetivo 12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis
Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos
Objetivo 14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável
Objetivo 15. Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade
Objetivo 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis
Objetivo 17. Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável

Fonte: Mundo (2016)

Os ODS respeitam as particularidades de cada país, isso faz com que cada governo desdobre essas metas internamente e avaliem a aplicabilidade de cada uma sem nunca desvincular as ações do desenvolvimento sustentável nas suas dimensões econômica, social e ambiental (Mundo, 2016).

Várias empresas de mineração publicam relatórios de sustentabilidade com base nas normas Global Reporting Initiative (GRI), atualizadas periodicamente e, mais recentemente, alinhadas com os princípios do Pacto Global da ONU, com o objetivo de estimular e alinhar os avanços das corporações em geral com a agenda dos ODS estabelecida pela ONU (Segura-Salazar & Tavares, 2018). No geral, os relatórios de sustentabilidade apresentam informações de natureza econômica, social e ambiental em que as empresas comunicam os impactos que acreditam ser mais relevantes.

Utilizando-se como exemplo as três maiores mineradoras listadas na Tabela 1 do capítulo anterior, pode-se ilustrar a preocupação dessas empresas em comunicar com as partes interessadas as iniciativas que estão sendo tomadas de forma direcionada ao estabelecido, ou até mesmo pactuado com a sociedade reproduzindo em seus canais de comunicação a intenção de se posicionar de forma alinhada aos anseios da sociedade em geral conforme os trechos retirados na seção de sustentabilidade dos sites das principais empresas de mineração:

- **BHP:** *“Nossa ampla abordagem à sustentabilidade é consistente com os princípios e requisitos de uma série de compromissos regulatórios e voluntários. Lançados em setembro de 2015, os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas consistem em 17 objetivos ambiciosos dedicados a melhorar o bem-estar das gerações presentes e futuras. Os ODS objetivam enfrentar os desafios mais prementes do mundo por meio da promoção do desenvolvimento sustentável. Como empresa global, muitos desses desafios de desenvolvimento sustentável são claramente evidentes para nós em todo o mundo.”(BHP, 2019)*

- **Vale:** *“Ser um operador sustentável, catalisador de desenvolvimento local e agente global de sustentabilidade. Nossos objetivos globais de sustentabilidade estão alinhados com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 das Nações Unidas.”(Vale, 2019b)*

-**Rio Tinto:** *“Em 2018, lançamos nossa primeira estratégia de sustentabilidade integrada. Essa estratégia nos obriga a adotar altos padrões, muitas vezes indo além dos requisitos legais, sobre questões de sustentabilidade relevantes para nossos negócios, nossos funcionários, as comunidades que nos hospedam e os clientes que compram e usam nossos produtos. Nosso objetivo é alcançar um desempenho social e ambiental consistente e de alta qualidade em todas as nossas operações e aumentar o conhecimento das partes interessadas sobre como trabalhamos com divulgações significativas e transparência. Também fizemos um esforço para*

entender melhor, engajar e formar parcerias com as principais partes interessadas para criar valor mútuo e sustentado. Apoiamos a agenda de desenvolvimento para 2030 e contribuimos para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU”.(Tinto, 2019)

É importante salientar que nem todas as empresas do setor de mineração estão empenhadas em seguir o caminho do desenvolvimento sustentável. No caso de minerações de pequena escala muitas vezes os princípios de desenvolvimento sustentável são negligenciados. A informalidade dessas operações nos países em desenvolvimento é bastante alta sendo assim danoso para a sustentabilidade desse setor de mineração (Childs, 2014).

2.3 Inovação tecnológica orientada à sustentabilidade

A inovação tecnológica é muito importante para entender a dinâmica industrial do setor de mineração em vários níveis de sustentabilidade (Karakaya & Nuur, 2018). Para tanto é necessário que se aplique uma lente contextual e em nível de sistema sobre inovação e processos de adoção no setor de mineração (Gruenhagen & Parker, 2020).

Os múltiplos fatores e partes interessadas envolvidas no desenvolvimento das atividades de mineração exigem adoção de inovações na indústria de minerais, com o objetivo de tornar presentes e futuras operações globalmente sustentáveis. À medida que os recursos facilmente exploráveis se tornam escassos e com baixo teor de concentração do mineral útil, são necessários métodos de concentração mais complexos. É aqui que a inovação tecnológica se torna um requisito para tornar as operações mais sustentáveis. De forma a que os custos reais de produção se tornem competitivos no mercado, o desperdício de mineração deve ser reduzido e a eficiência do uso de recursos e a recuperação de minerais úteis aumentados. Assim, além de reduções de custos, haverá impactos em infraestrutura e transporte. De fato, enquanto a oferta e a demanda determinam os preços das commodities no curto prazo, a inovação tecnológica e sua taxa de incorporação nas operações são fundamentais para apoiar a estabilização ou mesmo redução dos preços das commodities a longo prazo (Batterham, 2014). Importante salientar que as inovações tecnológicas servem para não apenas melhorar aspectos econômicos, mas também sociais e ambientais das operações de mineração (Segura-Salazar & Tavares, 2018), iniciativas nesse sentido estão ilustradas nas tabelas 3 e 4.

Quando falamos de inovação tecnológica, temos que deixar claro que a mineração é considerada uma indústria de baixa e média tecnologia (BMTs). A inovação nas BMTs recebem normalmente menos atenção relacionado a inovação tecnológica com comparadas às indústrias de alta tecnologia. Entretanto, quando levamos em consideração a inovação, o setor da mineração pode trazer muito benefícios devido ao peso desse setor na economia de muitos países em desenvolvimento (de Oslo, 1997).

As empresas de mineração se caracterizam pela adoção de tecnologias já com um certo grau de maturidade de forma incremental, pois esse setor tende a ser percebido como conservador e avesso ao risco. Essas inovações adotadas geralmente buscam um aumento de produtividade ou diferenciação dos produtos (Von Tunzelmann & Acha, 2005). Devido a complexidade do setor, muitas vezes a introdução de novas tecnologias acaba impactando a cadeia de suprimentos e muitas vezes demanda recursos humanos especializados. Pode-se exemplificar como alta tecnologia a utilização de inteligência artificial (AI), reagentes especiais para beneficiamento de minérios e desenvolvimento de novos produtos e processos de produção (de Oslo, 1997). A maioria dessas inovações vem de fora da indústria de mineração, seja através de indústrias de transformação, fornecedores ou fabricantes de equipamentos.

2.4 Utilização de alta tecnologia na mineração

As indústrias de alta tecnologia possuem, normalmente, o papel de fornecedoras ou produtoras de inovações para o restante dos setores industriais, já que possuem grande foco em P&D. De acordo com essa visão, as mineradoras normalmente compram tecnologias desenvolvidas pelas indústrias de alta tecnologia. Portanto, ela simplifica a complexidade da atividade inovativa. Nesse sentido as BMTs se caracterizam por serem grandes consumidoras e parceiras de empresas de alta tecnologia, sendo assim, elas devem buscar um objetivo comum para que ambos tenham sucesso nas inovações (Robertson, Smith, & Von Tunzelmann, 2009).

Rápidos avanços na inovação tecnológica, inclusive através de automação, digitalização e eletrificação, estão tendo um impacto fundamental no setor de mineração. As tecnologias que atualmente reformulam o setor incluem: veículos autônomos, incluindo caminhões de transporte, carregadeiras e trens de longa distância; centros operacionais remotos; perfuração automatizada e sistemas perfuração de túnel; GPS; drones; monitoramento de equipamentos autônomos; sensores inteligentes; tecnologia utilizável; e aprendizado de máquina (IGF, 2018).

Conforme detalhado no capítulo 2.3, o caminho da mineração tem sido a adoção de tecnologias, principalmente aquelas ecoeficientes que contribuem para um processo mais sustentável. Vários desses avanços que podem contribuir para a sustentabilidade estão apresentados na Tabela 3 onde são citadas algumas tecnologias incrementais relativas aos processos consolidados na mineração e outras inovações.

Tabela 3 - Exemplos de inovações tecnológicas no setor da mineração.

Equipamento de cominuição e classificação - 1900-1928: Moinhos de barras; moinhos de tombamento de múltiplas câmaras; vertical moinhos de rolos (VRM); classificador inclinado; moinhos de seixos autógenos - 1930-1959: Britador cônico ; moinhos de bolas vibrantes; moinhos; hidrociclones - 1960-1980: Moinhos semi-autógenos de alta relação diâmetro / comprimento; Britadores de impacto de eixo vertical (VSI); VRM de design otimizado; moinho centrífugo; rolos de moagem de alta pressão (HPGR); classificador de ar de alta eficiência (segunda e terceira geração); - 1985-1999: Rolos de grande diâmetro e moinhos rotativos; moinhos de torre de maior capacidade (acima de 1000 t / h de retificação fina)
Inovação no beneficiamento - Separação a seco em tamanhos mais grossos (reduz significativamente massa do material necessário na moagem, manuseio e concentração); - Utilização de leitos fluidizados de areia seca como separadores de meio denso para minério granulado (10–50 mm), com o objetivo de reduzir o consumo de água ou rejeição precoce de ganga grossa (redução do consumo de energia e das emissões de GEE).
Controle de malha de sondagem - Krigagem; - Modelamento computacional e simulação.
Localização e mapeamento de recursos - Mapeamento 3D.
Programação de Produção - Caminhões operados via GPS; - Equipamento de maior escala (escavadeira sobre rodas, draglines e caminhões); - Automação de máquinas de perfuração, caminhões e trens; - Novo design na operação de minas com o objetivo de melhorar a operação ideal de máquinas automatizadas; - Quantidades maiores de operação remota e centros de controle; - Rotas de processamento mais eficientes de acordo com as características dos minérios, com base em modelos geometalúrgicos.

Adaptado de Segura-Salazar e Tavares (2018)

Para ilustrar de maneira prática as inovações da Tabela 3 está listado na Tabela 4 alguns exemplos de utilização de alta tecnologia adotadas pelas empresas de mineração encontrados na literatura assim como os resultados proporcionados com a aplicação dessas tecnologias.

Tabela 4 - Exemplos de inovações em empresas de mineração.

Empresa	Tecnologia	Resultados
RIO TINTO'S PILBARA IRON ORE MINE	Caminhões guiados por GPS: Caminhões operam 24 horas por dia	Redução de custo (14%), aumento de produção, diminuição de exposição dos empregados a riscos da atividade
GOLDCORP'S ÉLÉONORE GOLD MINE	Conectividade e sensores inteligentes para mudar a maneira como opera no subsolo.	A tecnologia fornece à empresa informações em tempo real no desempenho de seus equipamentos e infraestrutura, bem como na localização de seu pessoal, o que ajudou a reduzir custos e melhorar a saúde e a segurança.
B2GOLD IN NAMIBIA	Planta de energia solar	Redução nos custos de energia e nas emissões de gases de efeito estufa
ANGLO AMERICAN	veículos elétricos movidos a hidrogênio a célula a combustível (FCEVs)	Os FCEVs contendo platina não emitem gases de efeito estufa.
TECK RESOURCES	sensores inteligentes	Identificação pequenas variações na qualidade de bacias hidrográficas e geração de poeira, variações que não eram anteriormente capaz de medir por amostragem diária (WEF, 2017). Os dados sobre água e poeira são então compartilhados com comunidades locais para ajudá-los a entender o impacto da mina no ambiente local e para garantir que eles se sintam seguros. (WEF, 2017).
RIO TINTO	Drones para medir estoques e auxiliar nas atividades ambientais e de manutenção	Redução de risco de acidentes de trabalho para pessoas.

Elaborado pelo autor com base em IGF (2018).

Tornar-se mais sustentável é um desafio particular para uma indústria de mineração. Pelas iniciativas publicadas pelas empresas pode-se ver um desejo crescente e genuíno de ser mais rentável e operar para a sustentabilidade. Para fazer isso, as empresas estão se capacitando e adotando processos que estão em conformidade com as diretrizes de sustentabilidade (Mackay & Bangerter, 2006).

Capítulo 3

Metodologia

Este estudo nos permitiu um aprofundamento e um melhor entendimento sobre o uso das atuais tecnologias pelas empresas e compreender se sua implementação está alinhada com os objetivos do relatório de sustentabilidade proposto pelas Nações Unidas e no âmbito proposto por Mackay e Bangerter (2006), que sugere que existe a necessidade de se inovar na indústria de mineração de modo que a atividade seja mais sustentável não apenas no olhar econômico, mas também por um olhar ambiental sob uma nova perspectiva para o setor. O trabalho tenta aplicar uma lente contextual sobre inovação e processos de adoção no setor de mineração proposto por Gruenhagen e Parker (2020). Eles também sugerem que algumas partes interessadas dentro de uma inovação do ecossistema da mineração requerem mais atenção do que foram dados em pesquisa anteriores.

3.1 Estratégia de Pesquisa

Conforme narrado no decorrer deste trabalho, a pesquisa procura responder às seguintes questões:

- Como a inovação tecnológica está mudando/ajudando a mineração, indústria considerada de baixa tecnologia, a tornar seus processos sustentáveis?
- Como a mineração está caminhando pela trajetória delineada pela conjuntura mundial no âmbito do desenvolvimento sustentável?

De acordo com Yin (2015), os estudos de caso são apropriados para responder questões que possuem os pronomes interrogativo ‘como’ e o ‘porquê’, quando o pesquisador está analisando casos atuais com pouco controle sobre os eventos. Adicionalmente, Schramm (1971) citado por Yin (2015) explica que o estudo de caso deve ser utilizado por ser adequado para “esclarecer uma

decisão ou um conjunto de decisões: o motivo pelo qual foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados.

Portanto, levando em consideração as perguntas a serem respondidas, o caso ser atual e a revisão de literatura como ponto de partida para a investigação, foi utilizado a estratégia de pesquisa o estudo de caso.

Segundo Yin (2015), o projeto através de estudo de caso podem ser caracterizado em quatro tipos com duas dimensões (número de casos estudados e o número de unidades de análise adotadas) como mostra a Figura 3, sendo eles

- Projeto Tipo I – estudo de um de caso no âmbito de uma unidade de análise;
- Projeto do Tipo II – estudo de um de caso no âmbito de mais que uma unidade de análise;
- Projeto do Tipo III – estudo de mais de um caso no âmbito de uma unidade de análise;
- Projeto do Tipo IV – estudo de mais de um caso no âmbito de mais que uma unidade de análise;

	Caso Único	Casos Múltiplos
Unidade de Análise Única	TIPO I	TIPO III
Unidade de Análise Múltipla	TIPO II	TIPO IV

Figura 3 - Tipos básicos de projetos para estudo de caso.(Yin, 2015)

Neste trabalho, optou-se por projeto Tipo I, onde foi analisado um caso e adotada a unidade de análise única. Segundo Yin (2015) espera que a utilização da metodologia de estudo de caso passa encontrar muitas assuntos de interesse quando comparado a quantidade de dados a serem analisados. A utilização dessa metodologia requer uma triangulação entre diferentes fontes para um mesmo assunto de forma a poder correlacionar a base teórica com os dados coletados para posterior análise.

3.2 Caso Único

O caso único pode ser um importante ponto de partida para gerar informações para a construção da teoria. Esse tipo de estudo pode embasar um direcionamento a investigações futuras em uma área inteira (Yin, 2015). Baseado nessa perspectiva, o estudo de caso único pode ilustrar pequenos detalhes que seriam ignorados quando o estudo busca uma grande generalização. (Zanni, Moraes, & Mariotto, 2011). Segundo Yin (2015), o número reduzido de

casos sugere uma maior oportunidade para um estudo mais detalhado, permitindo a captura do contexto com muito mais detalhes do estudo em questão.

Considerando o caso concreto desta tese, existe a possibilidade de o caso atuar na consolidação de conceitos e difusão de conhecimento sobre inovação para as organizações buscando identificar e possivelmente criar referências de comparação sobre a atuação de outras empresas do setor de mineração.

3.3 Unidade de Análise

A análise contemplará uma empresa de mineração de ferro, por ser o minério mais abundante na terra e de forma a restringir parte do setor que é bastante amplo e com diferentes complexidades. Para o estudo de caso foi escolhida a mineradora Vale S/A. A Vale é a única empresa entre as três maiores do setor de mineração com ações listadas na bolsa de Nova York (DiLallo, 2019) que possui a maior parte das suas operações em um país em desenvolvimento. O fato de a Vale estar presente em países em desenvolvimento enriquece o estudo quando consideramos que um dos principais objetivos da ONU é melhorar a qualidade de vida dos países em desenvolvimento. Nesses países a indústria de mineração ocupa um lugar central e de grande relevância econômica (Figueiredo & Piana, 2016).

Outro fator enriquecedor da unidade de análise desse trabalho condiz com a necessidade de reconstrução de uma imagem da Vale que passou em 2019 por um dos maiores acidentes já registrados no setor de mineração. O acidente ocorreu no município de Brumadinho, em Minas Gerais no dia 25 de janeiro de 2019 onde ocorreu o rompimento da barragem de rejeitos, que resultou em um enorme desastre industrial gerando impacto ao meio ambiente e às comunidades vizinhas inclusive com vítimas fatais (Laurino, Preto, & Junior, 2020).

Situações inesperadas, como tragédia de Brumadinho abalam os alicerces desse tipo de edifício simbólico construído pelas organizações, aumentando a distância entre o que acontece na realidade e as práticas discursivas que elas desenvolvem. Tais eventos comprometem não apenas a sua imagem nos mercados em que atuam, mas também em relação aos públicos com os quais interage ou que pretende influenciar (Oliveira & Oliveira, 2019).

3.4 Método de Recolha de Informação

As pesquisas sobre inovação em empresas podem fornecer muitas informações com diferentes propósitos. A pesquisa pode estar relacionada com os motivos e obstáculos à implantação, ligados a forma de operação das empresas, tipos de atividades inovadoras e inovações que são implementadas nas empresas (de Oslo, 1997). Este trabalho focalizou as

inovações que estão sendo implementadas na Vale com objetivo de reposicionar o a empresa em termos de sustentabilidade tendo um estudo de caso como estratégia.

De acordo com Yin (2015) na realização de um estudo de caso, quatro métodos podem ser utilizados para a obtenção de informações conforme ilustrado Tabela 5.

Tabela 5 - Métodos de obtenção de informações

Métodos	Características	Contexto
Observação	Períodos longos de observação	Compreensão de Subculturas
Relatórios e documentos	Atenção à organização e utilização dos documentos	Compreensão de linguagem e outros sistemas de sinais
Entrevistas	Semiestruturadas e abertas	Compreensão de experiências
Gravação Áudio e Vídeo	Transcrições precisas de interações que ocorrem naturalmente	Compreensão de como a interação se organiza

Fonte: (Yin, 2015)

No presente trabalho foram utilizados textos e documentos além de entrevistas semiestruturadas e abertas. Yin (2015) propõe a construção de uma estrutura de pesquisa para conseguir uma repetibilidade de resultados caso outro investigador repita os mesmos procedimentos.

As entrevistas foram realizadas com um diretor (nível estratégico), 3 gerentes (nível tático), e 3 analistas (nível operacional) totalizando 7 entrevistados.

As entrevistas seguiram um roteiro de perguntas abertas como base dos assuntos a serem discutidos. Os entrevistados tiveram a liberdade para acrescentar pontos importantes e outros assuntos mesmo quando não constante no roteiro. O roteiro de entrevista (Anexo I) buscou enfocar assuntos relacionados à relevância da sustentabilidade para a estratégia de inovação da empresa, a importância dos aspectos de sustentabilidade, aos principais objetivos de inovação orientada a sustentabilidade, a medidas para implementar a gestão da inovação e à implementação das novas tecnologias. As entrevistas duraram em média 1 hora e foram gravadas. Foram utilizados dados secundários para um primeiro levantamento, onde foram analisados relatórios de sustentabilidade, apresentações para o público externo, além de relatórios públicos.

3.5 Técnica de análise e tratamento dos dados

Yin (2015) sugere duas estratégias básicas para análise dos dados: (i) utilizar a teoria para analisar os dados, colocando os dados na mesma base e correlacionando com o que foi encontrado na teoria; e (ii) construir um relatório onde os dados coletados possuam um relação com o que está escrito na teoria.

Como forma de análise dos dados coletados foi realizado a criação de um relatório com as explicações. Os dados das entrevista foram analisados com base em uma codificação sistemática,

Capítulo 4

Estudo do caso Vale S/A

4.1 Dados gerais da Empresa

Originalmente criada em 1 de junho de 1942 como Companhia Estatal Vale do Rio Doce, a Vale tornou-se uma empresa privada classificada entre as maiores mineradoras do mundo. A empresa tem sua sede na cidade do Rio de Janeiro, Brasil, possui operações que abrangem aproximadamente 30 países conforme ilustrado na Figura 5.

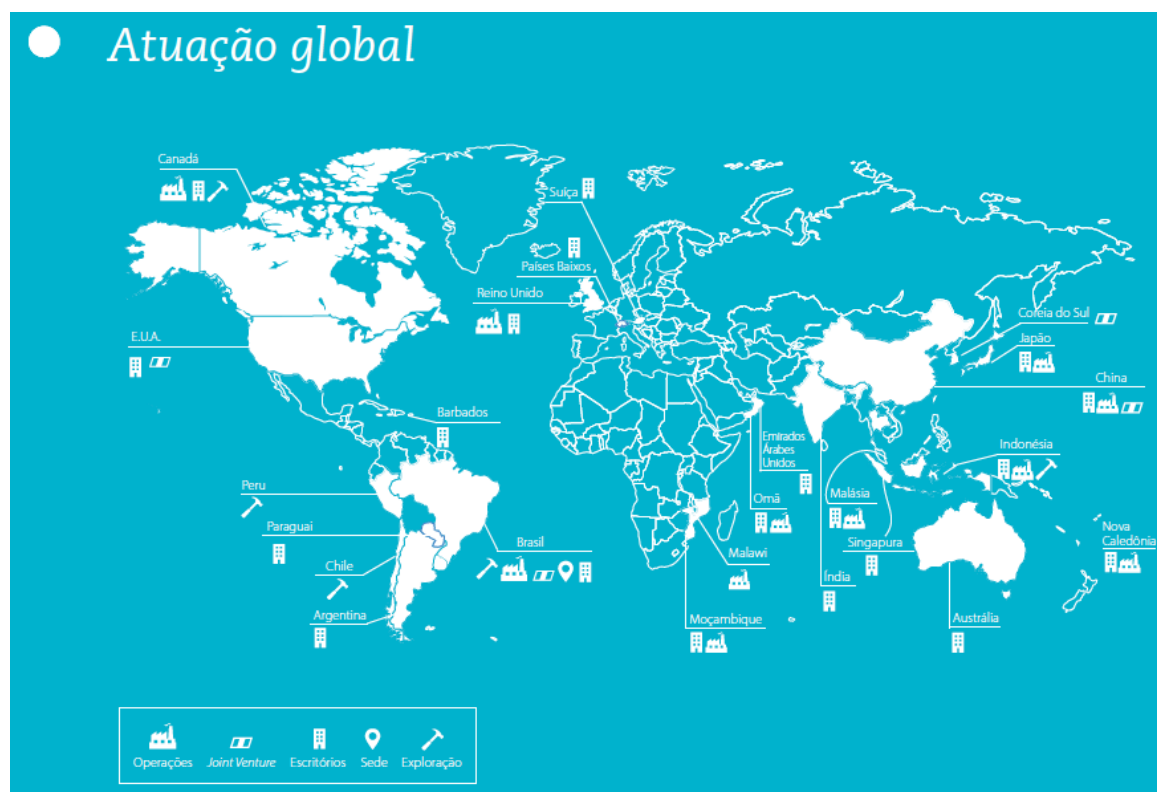


Figura 5 - Atuação Global da Vale. Fonte: Relatório de Sustentabilidade 2019

Os principais produtos produzidos pela Vale são os finos minério de ferro e pelota, além do níquel para a siderurgia. A empresa também produz vários minérios não ferrosos com destaque para o carvão metalúrgico e térmico. Para produzir e comercializar essa gama de matérias-primas a empresa possui, além de escritórios e unidades operacionais, uma cadeia integrada que engloba todo um sistema de logística composta por ferrovias, terminais marítimos e portos. Em 2019 a receita operacional líquida da Vale totalizou 37,6 bilhões de dólares americanos, sendo os minerais ferrosos (minério de ferro, manganês, ferro ligas além de outros) responsáveis por 79,9% dessa receita operacional líquida conforme a Figura 6.

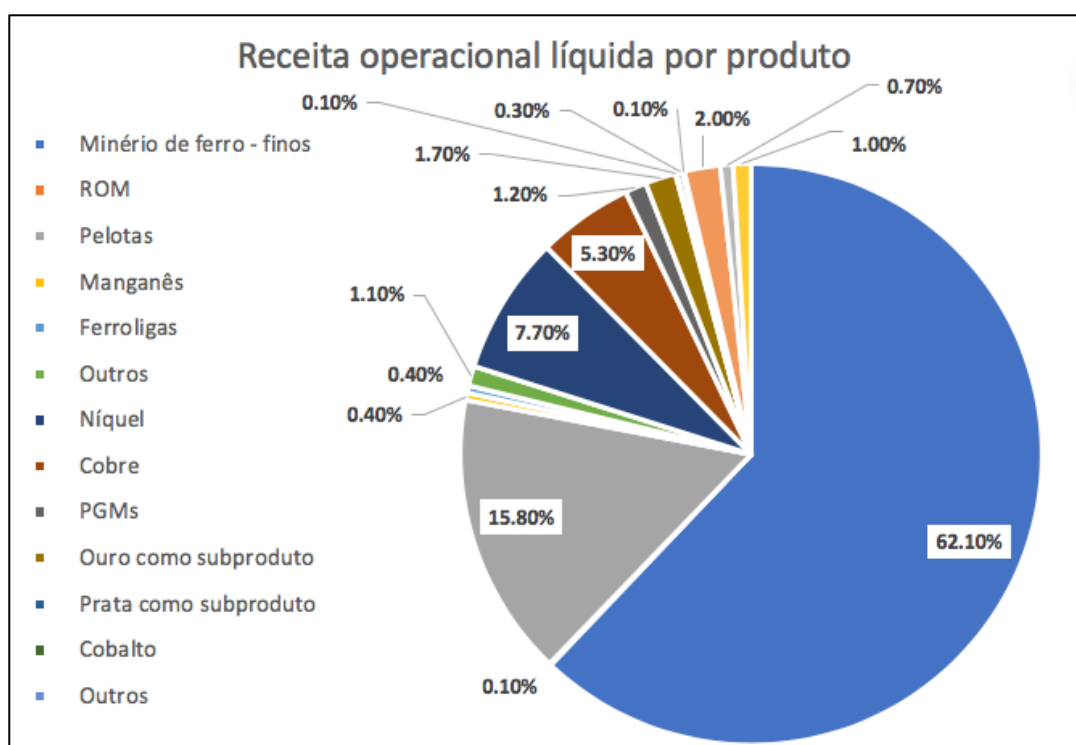


Figura 6 - Receita operacional líquida por produto. Elaborado pelo autor. Fonte: Desempenho da Vale no 4T19

De acordo com os dados do final de 2019, a empresa possui mais de 149 mil funcionários (71.100 próprios e 78.200 terceiros), na sua maioria alocados nas unidades do Brasil conforme ilustrado na Figura 7.

Distribuição dos empregados próprios e terceiros por região (2019)

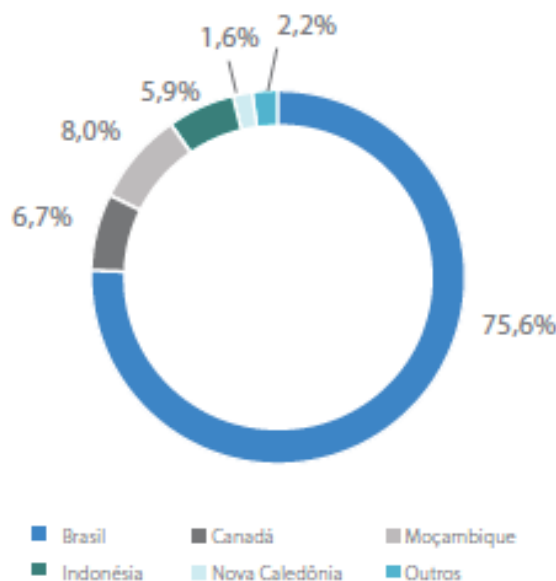


Figura 7 - Distribuição dos empregados por região. Fonte: Relatório de Sustentabilidade 2019

4.2 Vale e a sustentabilidade

A Vale sempre teve uma agenda de sustentabilidade, em 2011, a Vale criou o Programa Carbono da Cadeia de Valor para adequar o departamento de suprimentos na estratégia global da empresa. Esse programa tem o objetivo de dar visibilidade nos contratos a questão das emissões de GEE através de uma cláusula voluntária principalmente para aqueles fornecedores que serviços ou produtos que são críticos para as emissões (Vale, 2019c).

Outra iniciativa que vale ressaltar é o projeto inaugurado em 2016 para produção de minério de ferro denominado S11D. Este projeto é considerado o maior projeto de mineração de sua história e da indústria da mineração. Uma das tecnologias desenvolvidas e implantadas no S11D é a tecnologia *in-pit crushing and conveying* (sistema *truckless*). O uso do *truckless*, permite reduzir em até 77% o consumo de diesel impactando diretamente nas emissões de CO₂. O minério no S11D, diferentemente de outras plantas de processamento de minério de ferro da Vale, é processado a umidade natural, essa tecnologia permitiu a redução de 93% do consumo de água em relação ao processo a úmido, essa água que não é mais captada no meio ambiente é suficiente para abastecer uma cidade com mais de 400 mil habitantes (19,7 milhões de m³) (Palmeira, 2013).

A Vale possui varias iniciativas para mitigar os impactos da sua atividade como reduzir as emissões, dar o tratamento adequado aos resíduos, reduzir a dependência de recursos hídricos e

proteger o meio ambiente. No ano de 2019, o dispêndio para as iniciativas ligadas à sustentabilidade foram de US\$ 548,5 milhões (Vale, 2019b).

Entretanto, quando houve o acordo de Paris, assinado em 22 de abril de 2016, que propõe objetivos e metas para conter o aumento da temperatura do planeta em até 2°C, e também impulsionada após os acidentes ocorridos em Mariana e Brumadinho, a Vale reestruturou sua agenda de forma que a sustentabilidade possa se tornar um dos mais importantes pilares da empresa, adotando metas mais desafiadoras e ambiciosas conforme ilustrado na Figura 8.



Figura 8 - Revisão das metas de redução de emissão de *greenhouse gases* (GHG). Fonte: (Vale, 2019c)

Ao longo de 2019, a Vale devido ao acidente de grande abrangência ocorrido em janeiro de 2019, teve sua atuação de sustentabilidade voltada para mitigar por meios de várias iniciativas os efeitos do acidente buscando reparar os prejuízos causados ao meio ambiente e às comunidades internas e externas à empresa.

“A Vale vem passando por uma grande transformação devido a um acidente ocorrido em 2019, onde houve um colapso de uma barragem de rejeitos. Ela redefiniu os pilares do negócio e sustentabilidade passou a ser um dos pilares mais importantes da empresa. Houve um renascimento da empresa pautado no desenvolvimento sustentável. Pode-se dizer que empresa não consegue mais operar sem ter um pacto com a sociedade, conhecido como licença para operar, que está totalmente ligado a sustentabilidade. A sociedade tem que ver valor na operação da empresa e a empresa tem que retribuir os anseios da sociedade. Esses anseios internalizam na Vale através de acionistas,

órgãos reguladores, tratados internacionais como o acordo de Paris e ouvidorias.”(Entr. Gerente)

A Vale se mostra consciente que o aquecimento global é um dos principais desafios da sociedade moderna e se sua iniciativas mostra uma predisposição para que o aumento da temperatura do planeta se limite a 2°C com base no Acordo de Paris.

O direcionamento da sustentabilidade permeia por toda a empresa fazendo com que todos os projetos desenvolvidos na Vale atualmente tenham esse foco. O principal programa que está sendo desenvolvido na empresa desde 2017, chamado *Powershift*, é justamente focado em energias renováveis e no desenvolvimento de novas tecnologias para reduzir a emissão de CO₂ nas operações, em parceria com fornecedores, empresas de tecnologia aberta, universidades e grandes empresas. A Vale tem como meta tornar-se uma empresa de carbono neutro baseado no desenvolvimento de um portfólio de projetos de baixa emissão de CO₂, cuja viabilidade poderá ser estimulada pelo o valor recuperado pela não emissão de suas operações (Vale, 2019b).

4.3 Vale e a Agenda 2030

A Vale e a mineração como um todo já vem a algum tempo buscando um pacto diferente com a sociedade. Muitas de suas minas se situa próximo a grandes centros urbanos, como é o caso de Belo Horizonte em Minas Gerais no Brasil, cidade com mais de 3 milhões de habitantes. Essas cidades foram crescendo e se aproximando das operações. Isso demanda uma melhor relação com sociedade exigindo um maior esforço para mudar a imagem da mineração, “[..] a mineração não pode ser considerada apenas uma indústria extrativista somente, que não gera valor para a sociedade e sim um setor que gera muito valor que podem ser ilustrados pelos números[...]” (Entr. Gerente). O ponto é que a mineração precisa de situar de forma diferente com a sociedade.

A Vale em 2017 ratificou seu compromisso com a ONU de forma que eles sejam refletidos na Agenda 2030. Ela revisou o estudo de materialidade considerando a Agenda 2030 e mapeou a prioridades de 11 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) de um total de 17, distribuídos nos capítulos Pessoas, Planeta, Prosperidade, Paz e Parceria conforme ilustrados na Figura 9 .



Figura 9 - Matriz de Materialidade 11 temas prioritários para a Vale. Fonte: Relatório de Sustentabilidade 2017.

Em detrimento ao Acordo de Paris, a Vale em 2018 e 2019, ajustou as metas de sustentabilidade para melhor adequação aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODSs) das Nações Unidas que abordam o desenvolvimento sustentável em todas as suas dimensões conforme a Tabela 6 (Vale, 2019b). Em 2018 a Vale já havia assumido o desafio de reduzir as emissões de GEE em 16% em uma apresentação para a bolsa de Nova Iorque nos Estados Unidos, assim como 100% de produção de energia limpa no Brasil (Vale, 2018), já em 2019 a Vale atualizou a meta de acordo com tratado de Paris e reestabeleceu a meta de redução de emissão de CO₂ para 33% até 2030 e torna-se carbono neutro até 2050.

Tabela 6 - Metas Socioambientais Vale - Agenda 2030

Metas Socioambientais Vale – Agenda 2030
Meta: Energia
Objetivo anterior: 100% de autoprodução de energia limpa no Brasil Novo objetivo: 100% de autoprodução de energia limpa globalmente
Meta: Floresta
Objetivo anterior: Recuperar 100.000 hectares de áreas degradadas, além das nossas fronteiras Novo objetivo: Recuperar e proteger 500.000 hectares de áreas degradadas, além das nossas fronteiras
Meta: Água
Objetivo anterior: Reduzir o uso específico de água nova em 10% até 2030 considerando o ano de 2017 como base Novo objetivo: Reduzir o uso específico de água nova em 10% até 2030 considerando o ano 2017 como base
Meta: Mudanças climáticas
Objetivo anterior: Reduzir a intensidade de emissões de gases de efeito estufa em 16% Novo objetivo: Reduzir as emissões absolutas de gases de efeito estufa em 33%, alinhada com o Acordo de Paris, e tornar-se carbono neutro até 2050
Meta: Contribuição Socioeconômica
Objetivo anterior: Saúde, educação e geração de renda Novo objetivo: Saúde, educação e geração de renda Nova meta: Lacunas ESG – Environmental, Social and Governance (ASG – Ambiental, Social e Governança) Objetivo: Eliminar principais lacunas ESG em relação às melhores práticas. Analisamos a metodologia dos nossos principais provedores de informações ESG (ISS, Glass Lewis, MSCI, Sustainalytics, Responsible Mining Index, Dow Jones Sustainability Index). Uma análise de gaps identificou aproximadamente 50 gaps relativos às melhores práticas, e traçamos um plano de ação para preencher estas lacunas

Fonte: Relatório de sustentabilidade 2019(Vale, 2019b)

O acompanhamento das metas são medidos através de *key performance indicators* (KPI's) e servem como métricas para avaliar a sustentabilidade dentro dos negócios da empresa, o desempenho contribui para a remuneração variável dos funcionários. No final de 2019, a Vale havia atingido quase todas as metas nas dimensões de meio ambiente, social, investimento social e energia, mas a metas de emissão GEE não foi atingida como mostra a tabela 7 (Vale, 2019b).

Tabela 7 - Tabela KPI de sustentabilidade

Área de negócio	Indicadores	Dimensão	Métricas de Avaliação	Resultados 2019
Minério de Ferro, Pelotas e Manganês	Recuperação de Áreas Degradadas (RAD)	Meio Ambiente	Aderência em % ao planejado	●
	Recursos Hídricos	Meio Ambiente	Volume/Produção	●
	Geração de Resíduos Perigosos	Meio Ambiente	Massa	●
	Emissões Atmosféricas	Meio Ambiente	Massa/Tempo; Nº de Ultrapassagens dos Padrões Estabelecidos	●
	Iniciativas Sociais Relevantes	Social	Ações Concluídas	●
	Emissões de GEE	Meio Ambiente	Massa/Produção	●
Metais Básicos	Recuperação de Áreas Degradadas (RAD)	Meio Ambiente	Aderência em % ao planejado	●
	Gestão de Resíduos	Meio Ambiente	Massa	●
	Recursos Hídricos	Meio Ambiente	Volume/Produção	●
	Iniciativas Sociais Relevantes	Social	Ações Concluídas	●
	Emissões de GEE	Meio Ambiente	Massa/Produção	●
Carvão	Recuperação de Áreas Degradadas (RAD)	Meio Ambiente	Aderência em % ao planejado	●
	Emissões de GEE	Meio Ambiente	Massa/Produção	●
	Emissões Atmosféricas	Meio Ambiente	Ações Concluídas	●
	Recursos Hídricos	Meio Ambiente	Volume/Produção	●
	Iniciativas Sociais Relevantes	Social	Ações Concluídas	●
Suprimentos	Destinação de Resíduos	Meio Ambiente	%; Massa	●
Pesquisa Mineral	Recuperação de Áreas Degradadas (RAD)	Meio Ambiente	Aderência em % ao planejado	●
	Iniciativas Sociais Relevantes	Social	Ações Concluídas	●
Energia	Assegurar volume adicional futuro de autoprodução	Energia	MW Médios	●
Investimento Social	Variação de renda dos empreendedores	Investimento Social	Número de beneficiados	●
	Apoio a novos empreendedores	Investimento Social	Número de beneficiados	●
	Famílias atendidas com banheiro seco e/ou cisterna	Investimento Social	Número de beneficiados	●
	Unidades Básicas de Saúde que tiveram ampliação de serviços	Investimento Social	Número de beneficiados	●
	Capacitação de profissionais de educação	Investimento Social	Número de beneficiados	●

● Metas atingidas ou superadas ● Metas não atingidas

Fonte: Relatório de sustentabilidade 2019(Vale, 2019b)

Muitas das iniciativas, principalmente relacionado ao emissão de GEE, já estavam sendo incorporadas pela Vale antes mesmo dos desdobramentos do acordo de Paris. A Vale já havia declarado algumas metas de redução de CO₂ por iniciativa própria pois já entendia que esse é o caminho, deixando os velhos paradigmas como por exemplo agir somente sob pressão de autoridades. “[...] A Vale não quer se limitar em apenas cumprir metas e sim ter iniciativas que tragam os melhores resultados[...]”(Entr. Diretor).

4.4 Criando um setor de mineração sustentável, adotando a inovação

A resposta mais importante no processo de inovação é a pergunta: "Por que estamos inovando?" A geração de ideias pode ser considerada a parte mais fácil da inovação, mas é importante salientar que essas ideias devem estar alinhadas corretamente ao problema ou ao

objetivo do negócio, e é sobre escolher as ideias certas e levá-las efetivamente à conclusão. A necessidade de se inovar precisa começar com objetivos da inovação (Lane, 2016). “[...]A Vale não quer adotar novas tecnologias por adotar, fazer inovação por inovar, mas sim adotar tecnologias e fazer inovações que ajudem a empresa a caminhar para um desenvolvimento sustentável, a sustentabilidade dos projetos está em primeiro lugar[...]” ([Ent. Staff]). Na mineração, especificamente, isso deve contribuir para a criação de uma atividade de mineração sustentável.

“[...]A Vale é uma empresa que se preocupa muito com o meio que está inserida e portanto na sua carteira de projetos são priorizados projetos que contribuem o desenvolvimento sustentável do negócio. Os objetivos dos projetos são claros, como a preocupação com pessoas, procurando trazer menor exposição a risco, e também a redução de emissão de CO₂. Um dos desafios é utilizar as informações geradas por tecnologias modernas e modelar essas informações para melhor tomada de decisão, tornando assim os processos mais eficientes. Pode-se exemplificar as tecnologias utilizadas para aquisição de dados como a utilização de AI, machine learning, deep learning, realidade aumentada (VR). [...] em 2019 um modelo de eficiência energética reduziu 1,3% no consumo de diesel na operação de uma mina em uma das unidades da Vale [...]”. É um valor muito significativo já que um caminhão fora de estrada consome em média 150 litros por hora trabalhada, a Vale possui mais de 600 desses caminhões. (Ent. Staff).

A Vale credita à inovação um dos principais caminhos para a sustentabilidade do seu negócio, contribuindo para melhoria dos seus processos e operações a fim de garantir um desenvolvimento sustentável. Por isso ela investe em instituições voltadas para pesquisa e desenvolvimento de projetos na área de inovação relacionados à cadeia da mineração. Vale possui três centros de pesquisas próprios sendo eles (Vale, 2020c):

- **Centro Tecnológico de Ferrosos (CTF):** centro de pesquisa com maior foco nas atividades fim da Vale como mineração e siderurgia. É considerado um dos mais modernos centros de tecnologia em mineração e siderurgia no mundo. Possui uma equipe multidisciplinar formada por engenheiros metalurgistas, químicos, geólogos, físicos e outros. Já obteve 10 patentes de inovação tecnológica.

- **Centro de desenvolvimento mineral (CDM):** centro de pesquisa com um foco voltado a exploração mineral, etapa do processo de mineração onde muitas vezes está sendo estudado a viabilidade de extração do minério.

- **Instituto Tecnológico Vale (ITV):** centro de pesquisa com foco na formação de pesquisadores aptos a enfrentar questões relacionadas a melhor utilização dos recostos naturais, além de atrair mão de obra qualificada para a mineração.

Nos últimos anos houve evoluções importantes na mineração em termos de atitudes e comportamentos das empresas que não foram visíveis o suficiente para ser apreciado publicamente (Mackay & Bangerter, 2006). Alguns países tem investido de forma concisa em tecnologias que proporcione maior eficiência para o setor produtivo possibilitando a criação de novos produtos que tornem a produção industrial mais sustentável em toda a sua cadeia. Esse investimento tem como pilares a automação e controle e a utilização de novos materiais (Mesquita et al., 2016). Apesar de ser um fato que os processos da mineração muitas vezes serem considerados centenários devido a pouca evolução em alguns deles, muita coisa tem mudado, principalmente quando se fala em sustentabilidade do negócio. Isso pode estar associado a um reflexo da necessidade de uma mudança mais acelerada da mineração e um novo posicionamento para continuar operando de forma sustentável do ponto de vista de negócio.

Apesar da preocupação constante com o resultado do negócio, o estado como agente regulador exige que as empresas desenvolvam iniciativas que sejam melhor para a humanidade “[...] esse é um caminho sem volta [...]” (Ent. Diretor). O acordo de Paris assinado pelos países é um exemplo claro de um conjunto de metas que devem ser adotadas pelos países, e consequentemente desdobradas para as empresas. “[...] A longo prazo, existe a possibilidade da taxaço dos negócios que não estiverem alinhados com os caminhos da sustentabilidade [...]” (Ent. Diretor). Portanto, cedo ou tarde, haverá um custo adicionado associado a não adequação, como por exemplo a taxaço por emissão de GEE. Levando para o caso específico da mineração, fica claro que o setor precisa ser mais eco-eficiente no sentido de utilização ambientalmente sustentável dos recursos naturais finitos (Mackay & Bangerter, 2006), mesmo que muitas vezes, a utilização de tecnologias mais sustentáveis, possam trazer para o processo produtivo custos maiores (Mesquita et al., 2016).

4.5 Gestão da inovação

Este capítulo busca examinar, conforme proposto Lazarenko et al. (2019), o nível da Vale em termos de gerenciamento das inovaçoes e como ferramentas modernas de gerenciamento de inovação estão sendo implementados na empresa. O sistema de inovação tem como objetivo manter as práticas de inovação da empresa melhorando seu desempenho de forma a expandir as oportunidades de atividades orientadas para a inovação de forma contínua.

Ainda segundo Lazarenko et al. (2019), as empresas de mineração precisam desenvolver capacidades específicas de inovação, internas e externas para adotar conhecimento e conceber um crescimento adequado orientado às estratégias de inovação.

A inovação não necessariamente está ligado apenas à inovação tecnológica, mas tem como um importante alicerce a “Inovação em Gerenciamento”, que se baseia na forma de como as empresas gerenciam as inovações de forma que o essa nova estrutura seja capaz de melhorar o conhecimento tecnológico de forma a alcançar melhores resultados que gerem valor para as empresas (Teixeira, Caldara, & Junges, 2019).

A Vale reestruturou a gestão da inovação de forma que os desenvolvimentos em P&D fiquem conectados aos interesses do negócios e principalmente às estratégia da empresa. Os projetos de inovação de P&D seguem a orientação geral da empresa, dentro dos grandes tópicos de sustentabilidade. Os desenvolvimentos são divididos em *roadmaps* tecnológicos, portanto dentro dos *roadmaps* existe uma fase que aborda a sustentabilidade.

A Figura 10 mostra um exemplo genérico de *roadmap* da Vale que traduz algumas informações essenciais sobre o *roadmap* e os projetos, tais como o avanço físico, grau de maturidade dos resultado e relevância para o KPI escolhido consolidando o histórico e estabelecendo projeções em relação ao caso base. Novos projetos são alimentados no portfólio caso as projeções não atendam os anseios da empresa. A contribuição de cada projeto pode ser visualizado pelo tamanho do círculo, sendo sua cor o indicativo da confiança nos resultados e o preenchimento indica o avanço físico do projeto (Teixeira et al., 2019).

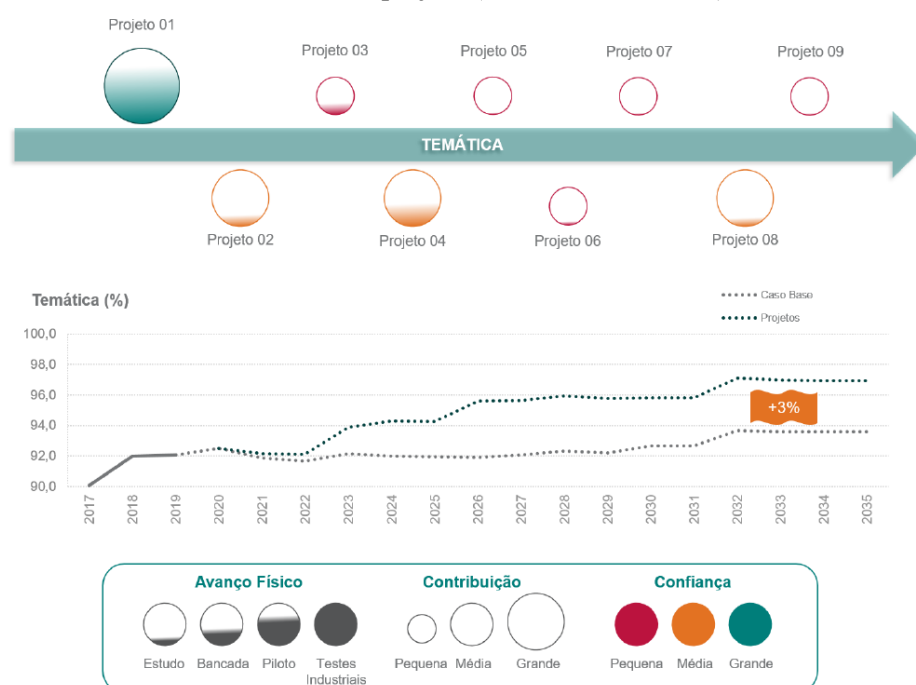


Figura 10 - Roadmap tecnológico. Fonte: (Teixeira et al., 2019)

Os principais projetos segundo o gerente de Inovação e Tecnologia de Ferrosos que estão dentro do *roadmap* são:

[...]A gente tem destinação sustentável de resíduos, gestão de risco de biodiversidade, aproveitamento de rejeitos como co-produtos, recuperação de áreas degradadas, emissão de GHG, emissão de particulados, redução de ruídos, uso de água. Esses são os principais.[...]

Cada um dos projetos tem um indicador específico que são definidos de modo que possa avaliar tanto o projeto de inovação como o objetivo global da Vale. Para exemplificar pode-se citar um projeto relacionado a redução de GHG onde o KPI mede a emissão de CO₂ equivalente por tonelada de minério de ferro produzido (t CO₂eq/tMfe), isto é, o resultado impacta não só a evolução do *roadmap* do projeto específico mas também o *roadmap* global da empresa. O indicador também serve como direcionador para agrupar projetos que podem apresentar sinergia e trabalham para um objetivo comum.

Isso traz uma melhor visualização para as pessoas que estão desenvolvendo o projeto, para elas entenderem como aquele projeto que elas estão desenvolvendo conversa com os objetivos estratégicos da empresa.(Entr. gerente)

Existe um portal de inovação, acessível na intranet da Vale, criado pela área de inovação e tecnologia que permite um acompanhamento do progresso dos projetos dentro do *roadmap* sendo capaz de garantir várias etapas do processo de desenvolvimento como:

- avanço físico e financeiro dos projetos;
- o balanceamento do portfólio atual;
- criar fóruns de discussão atrelados aos *roadmaps*;
- garantir o alinhamento das partes envolvidas sobre os desenvolvimentos em andamento;
- engajar e facilitar a colaboração de funcionários dispersos na organização;
- criar um histórico e um repositório de informações relativas aos desenvolvimentos atuais e passados relacionados a cada tema;
- mapear e manter um banco de dados de colaboradores externos.

[...] a gente tem relacionado aqui no nosso banco de dados mais de 200 projetos relacionados ao desenvolvimento tecnológico, mas não são todos ligados a sustentabilidade [...].(Entr. gerente)

As mudanças implementadas pela Vale no intuito de melhorar o gerenciamento das inovações permitiu uma nova forma a criação de um ambiente de desenvolvimento tecnológico mais integrado a diversas áreas da empresa. Isso trouxe mais transparência aos objetivos da

empresa de forma a conectar diretamente o que está sendo desenvolvido à estratégia da Vale. [...] o portal de inovação tem sido uma ferramenta fundamental para a criação desse ambiente, onde os desafios se mostram mais claros, com métricas claramente definidas, facilitando a mensuração dos ganhos provenientes do P&D[...] (Entr. Gerente).

4.6 Inovação Tecnológica e Processo de Adoção na Vale

Em 2018 a Vale estruturou um estudo para aprofundar na avaliação de fontes de energia mais sustentáveis utilizado na sua cadeia produtiva focado na redução de emissão de GHG. Esse projeto é denominado pela Vale de *Powershift*.

Inicialmente o programa *Powershift* era focado na redução de custo, portanto com muita atenção voltada para a redução de consumo de diesel que é o maior custo energético da Vale. Após o acordo de Paris, a Vale redefiniu a estratégia do programa de redução de custos para a redução de emissões. Isso acresce ao projeto novas metodologias de medição de redução de emissões baseado na *Science Based Target Initiative* (SBTI). Em uma primeira auditoria ficou estipulado que uma meta de redução de emissão absoluta deve ser 33% até 2030, com ano base de 2017 (Vale, 2019b). Isso faz com que o projeto não possa focar somente na redução de consumo de diesel e sim em toda a cadeia produtiva (Figura 11).

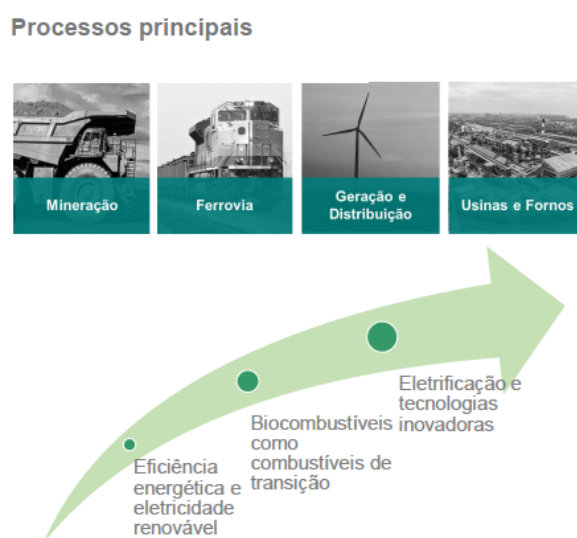


Figura 11 - Cadeia produtiva minério de ferro. Fonte:(Vale, 2020a)

O programa tem como principais pilares a redução e eliminação de emissões de GHG em toda a cadeia desde a extração na mina até a emissão nos processos dos clientes se utilizando de eletrificação, energias limpas e novas tecnologias. Esse programa é dividido em escopos sendo eles:

Escopo 1: Emissões que estão ligadas diretamente na operação interna do negócio, o quanto é emitido na operação de mina e ferrovia, processos metalúrgicos, pelotização e mina subterrânea.

Escopo 2: As emissões ligadas à aquisição de energia, isto é, quanto se compra de energia e quanto representa de emissão.

Escopo 3: A emissão considerada fora das operações, como a logística do produto até o cliente e o impacto do produto da Vale nas emissões do cliente, no caso a siderurgia ou indústrias metalúrgicas.

Escopo 1 e 2

O programa foi estruturado em 2018, com metas estabelecidas de redução de emissão de GHG de 16% em intensidade, em termos absolutos isso significava reduzir 3% das emissões até 2030 tendo como base as emissões em 2017. Essa meta já era bastante desafiadora visto que poucas mineradoras estavam com essa ambição. Depois do acidente ocorrido com o rompimento da barragem de rejeitos em Brumadinho vislumbrou-se a necessidade de se fazer mais, isto é, estabelecer um pacto maior com a sociedade estabelecendo uma maior prioridade com a agenda de sustentabilidade, principalmente ligado ao meio ambiente. Então em dezembro de 2019, a Vale se comprometeu a aumentar seus esforços revisando a meta de redução emissões de GHG para aproximadamente 33% de redução absoluta. Isso significa que até 2030 a Vale terá que reduzir 33% de emissões comparado a 2017 como mostra a Figura 12. Em números absolutos, a Vale terá que operar com no máximo 9 milhões de toneladas CO₂ mesmo considerando o aumento de produção. Isso torna o desafio ainda maior, pois com o aumento de produção, estima-se que Vale terá que reduzir até 50% de emissão nas suas operações em 10 anos. Nesse sentido a Vale está liderando uma transição do setor para uma economia de baixo carbono à frente de suas principais competidoras que são a BHP e Rio Tinto.

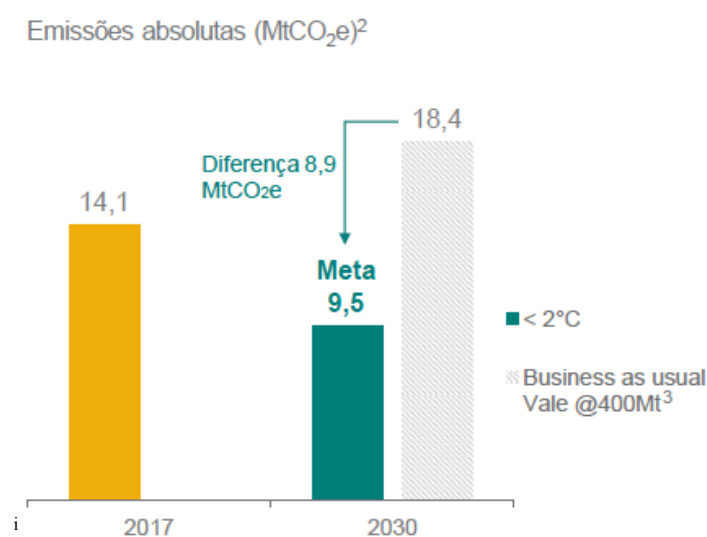


Figura 12 - Meta de médio prazo para reduzir 33% das emissões do escopo 1 e 2 até 2030. Fonte: (Vale, 2020a)

Um dos caminhos que está sendo trilhado pela Vale está baseado no acesso a novas tecnologias que estão acelerando rapidamente. Os custos da tecnologia estão caindo drasticamente e novas abordagens para a mineração estão sendo cada vez mais testados e adotados. Uma das tecnologias que vem reduzindo drasticamente os custos são as tecnologias de geração de energia de fontes renováveis e também o seu armazenamento em baterias. Os avanços tecnológicos, aliados à redução de custos, tornam as energias renováveis cada vez mais propensas a ser integrado ao mix de energia de uma empresa de mineração (IGF, 2018). De acordo com o Gerente de Projetos essa redução dos custos possibilitou:

Com esse contexto todo do mundo de redução de custo geração de energia solar, eólica e a queda acentuada do custo de baterias. Em 2017, em uma das reuniões do comitê de tecnologia, a Vale levou a necessidade de se reavaliar a matriz energética. Atualmente o maior custo de energia da Vale é o diesel utilizado nas operações de mina, ferrovia e na navegação. É importante ressaltar que no Brasil a Vale já tem 60% da matriz energética de fontes renováveis, grande parte é hidráulica. (Entr. Gerente)

Apesar de toda a evolução das tecnologias para geração de energia, um dos principais desafios para esse reposicionamento do setor da mineração é a disponibilidade de tecnologias dos equipamentos de produção. Uma das principais iniciativas da Vale é o desenvolvimento de caminhões elétricos fora de estrada e locomotivas elétricas cuja as exigências requeridas são muito superiores a carros elétricos de passeio, principalmente no que requer uma bateria. Um caminhão fora de estrada da Vale pode chegar a 400 toneladas de carga e uma locomotiva pode ser compostas por até 330 vagões. Atualmente o mercado de fornecedores da mineração tem uma cadeia de fornecimento estabelecida e o maior ganho financeiro está na prestação de serviços. Ainda não se observa um interesse por parte dos fornecedores uma orientação para o desenvolvimento de novas tecnologias, principalmente na velocidade que o mercado requer.

A inovação não é algo fácil para a indústria da mineração. O negócio em si requer grande aporte financeiro e apresenta grande risco, o que torna difícil a aceitação de inovações que apresentem alto grau de disruptividade, atreladas a grande aporte financeiro e ao risco inerente ao seu desenvolvimento (Von Tunzelmann & Acha, 2005). Tradicionalmente a Vale sempre estabeleceu parcerias com universidades, consórcios de pesquisa, etc., como forma de desenvolver soluções, mas considera que normalmente esses desenvolvimentos acabam trazendo uma abordagem conservadora para o processo, devido ao histórico do setor ser muito conservador. Segundo Lazarenko et al. (2019), sem mudanças e intervenções significativas, o setor de mineração não será capaz de superar os desafios atuais. A carteira de projetos precisa estar balanceada, contendo projetos de menor e maior grau de inovação, desde iniciativas

incrementais até projetos altamente disruptivos, possibilitando uma entrega consistente de resultados, alinhados ao nível de disruptividade desejado pela empresa.

Para cumprir metas tão ambiciosas a Vale decidiu adotar uma postura diferente no campo da sustentabilidade e estabeleceu como estratégia um reposicionamento da mineração perante os fornecedores. Uma das formas encontradas para acelerar os processos de desenvolvimento foi trabalhar conjuntamente com os seus principais competidores considerando que esse campo da sustentabilidade não é competitivo. Nesse caso, o agrupamento de esforços pode trazer uma redução de custos pelo aumento de escala, gerando assim uma demanda necessária para que o mercado se movimente no desenvolvimento de soluções com uma maior velocidade. Basicamente, o processo de inovação se baseava em especificar, pedir e comprar. O desenvolvimento ficava todo a cargo do fornecedor, existia uma pequena parcela desenvolvida internamente, mas era seguido o processo de P&D do fornecedor. Agora a estratégia é acelerar esse processo.

Especificamente no programa *Powershift* a Vale está trabalhando em três vertentes como estratégia do ponto de vista de inovação para dar velocidade ao programa.

A primeira vertente foi a exploração da inovação em si, expor os desafios do programa para o mundo e angariar recursos humanos para o desenvolvimento de soluções. Em 2019 a Vale lançou um programa chamado *Mining Innovation for a New Environment* com o objetivo de trazer alunos ou recém-formados para poderem trabalhar em grupos, essas pessoas tem como missão desenvolver desafios dentro do *Powershift* e também dentro da parte de transformação digital da empresa. O programa conta com a parceria do Massachusetts Institute of Technology (MIT), Empire College London, Centro Universitário Senai Cimatec no Brasil e uma empresa de inovação aberta chamada The Bakery. Foi montado um programa para que esses alunos tivessem ensinamentos sobre sustentabilidade junto ao MIT, aula de mineração no Imperial College e tivesse uma tutoria do Senai Cimatec e da The Bakery para poder trabalhar métodos ágeis e também construção de projetos que buscam soluções para os desafios do *Powershift* ao longo de 6 meses que se findará em junho de 2020.

Uma segunda vertente foi estabelecer parcerias como os principais competidores, que nesse campo se tornaram parceiros. Foi realizado uma reunião em 2019 na Inglaterra para em um primeiro momento estabelecer todo antitruste necessário e depois iniciar um trabalho em conjunto para desenvolver pilotos de tecnologia no intuito de acelerar o desenvolvimento de novas tecnologias. Essa reunião contou com as empresas Vale, BHP, Rio Tinto, LKAB e Fortescue visando as operação de mina a céu aberto. No caso da ferrovia essas parcerias foram estendidas para além dos principais pares da Vale, incluindo também empresas que são grandes operadoras ferroviárias no mundo como Canadian Pacific Railway. Esse vertente mostra que o setor está indo na mesma direção e que os prazos hoje da indústria de fornecimento não estão casados com a ambição das empresas.

Uma terceira vertente está na adoção de um novo modelo de governança. O programa *Powershift* é transversal na companhia visto que as soluções encontradas podem ser aplicadas em diferentes sites da empresa ao redor do mundo. Muitos dos equipamentos utilizados pela Vale são comuns a muitas de suas operações. Sendo assim uma solução de eletrificação, combustível alternativo, além de outras tecnologias desenvolvidas, podem ser aplicadas na Vale como um todo, beneficiando toda a cadeia. Visto isso o *Powershift* olha sempre a empresa como um todo conforme elucidado pelo gerente de projetos.

Existe internamente na Vale um fórum de baixo carbono que acompanha todas as iniciativas do Powershift mensalmente, composto por integrantes da diretoria executiva e o corpo técnico. Existe também um comitê de avaliação de tudo que está acontecendo no intuito de direcionar e dar velocidade para esses trabalhos. E também existe um time independente externo para auditar o roadmap buscando verificar se a abrangência das ações está considerando todas as possibilidades, avaliando riscos e incertezas. (Entr. Gerente)

Os anos de 2018 e 2019 foram de muito conhecimento de muita prospecção de definição de estratégia, busca de parcerias de inovação, montagem de toda a estrutura. Os anos de 2020 e 2021 serão anos de testagens piloto de soluções consideradas viáveis e que podem levar a atingir a meta de redução de emissões até 2030 e também preparar a empresa para ser de carbono neutro até 2050. A Figura 13 mostra a curva de maturidade dos projetos que em grande parte ainda estão uma fase de maturidade das tecnológicas muito baixa na curva de desenvolvimento.

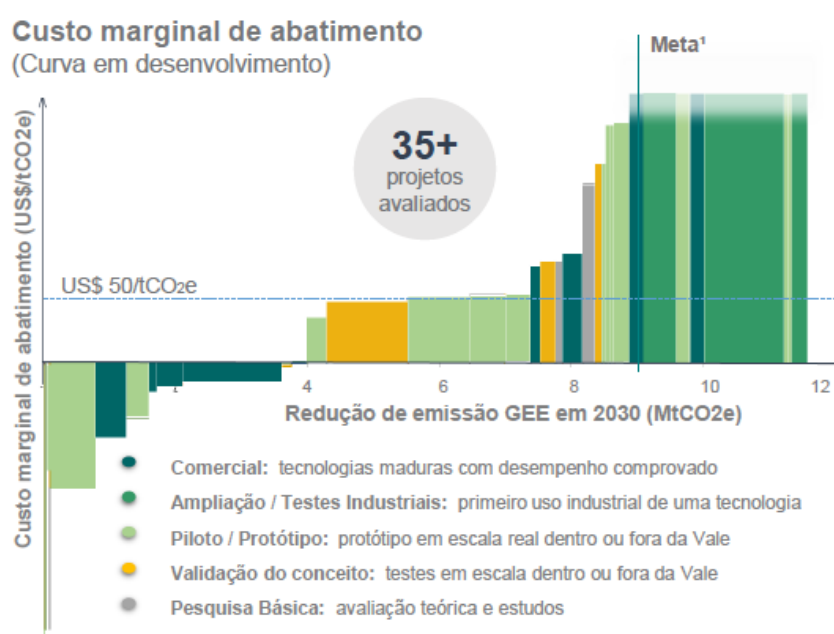


Figura 13 - Maturidade dos projetos para redução de emissão de CO₂. Fonte: (Vale, 2020a)

A próxima fase do programa tem o objetivo de diminuir as incertezas aumentando o grau de maturidade dessas tecnologias, principalmente as que irão ter maior impacto na redução de emissões. A previsão é que a partir de 2023, já se tenham algumas soluções implantadas para a redução de emissões. O programa da forma como está estruturado está totalmente alinhado com a inovação e deverá trazer muitas novidades tecnológicas para o setor.

Escopo 3

Dentro da estrutura do programa *Powershift* existe outro grande programa de redução de emissões chamada *Ecoshipping* coordenado pela área da navegação. Esse programa é parte do escopo 3 que corresponde às emissões na logística de navegação e no impacto dos produtos da Vale nas emissões de CO₂ dos clientes. Quando se considera a cadeia produtiva da Vale constituída por mina, ferrovia, porto e navegação, a navegação representa 40% de gasto de energia da Vale dessa cadeia como mostra a Figura 14. É importante destacar que as emissões de CO₂ na siderurgia proveniente da utilização dos produtos da Vale é amplamente maior que todas as emissões geradas durante a cadeia de produção da mina até a entrega do produto no cliente.

Emissão Green House Gases em 2018

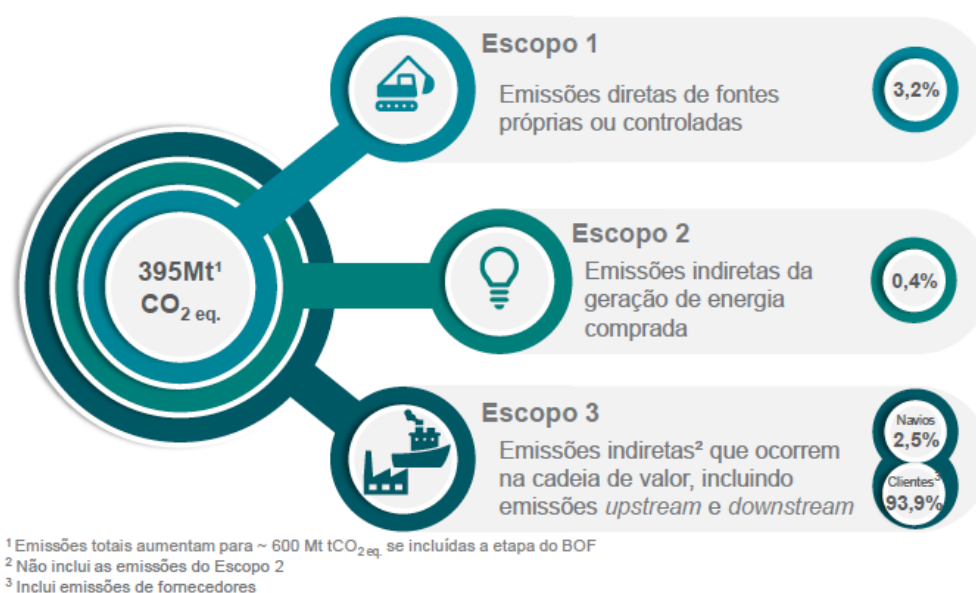


Figura 14 - Emissões de GHG da Vale em 2018. Fonte: (Vale, 2019a)

As metas do escopo 3 ainda não foram definidas pela Vale, mas com relação a navegação, ela obrigatoriamente deverá atingir as metas de redução de emissões propostas pela International Maritime Organization (IMO) que é um braço da ONU para regular a navegação internacional.

A IMO adotou regulamentos para lidar com a emissão de poluentes do ar a partir de navios e adotou medidas obrigatórias de eficiência energética para reduzir as emissões de gases de efeito estufa dos navios, e está apoiando projetos para criar regras de transporte e de incentivo ao desenvolvimento e transferência de tecnologia que possam ajudar no desenvolvimento sustentável da navegação. Segundo a IMO, é preciso que o pico de emissões pela navegação atinja o pico no menor tempo possível e as reduções sejam cortadas em pelo menos 50% até 2050 em relação a 2008. A estratégia inclui uma referência específica a "um caminho de redução de emissões de CO₂ consistente com as metas de temperatura do Acordo de Paris"(Organization, 2018).

[..] quando foi feito o acordo de Paris, duas coisas não foram cobertos pelas metas no acordo que são a aviação internacional e a navegação internacional porque é de um país para outro[...]. [...]no caso da aviação e navegação as metas deverão ser estabelecidas pelas organizações internacionais que regulam essas áreas que no caso da navegação é o IMO. Ela já definiu ambições de reduzir a intensidade de carbono da navegação mundial em 40% até 2030, e até 2050 em 50% a emissão em valor absoluto [...](Entr. Diretor)

Iniciativas da Vale anteriores ao Acordo de Paris já corroboram com a redução de emissão de CO₂ como os investimentos em navios de grande capacidade para transporte de minério (400 mil toneladas) nomeados como Valemax. Esses navios já trouxeram um ganho de escala e permitiram uma redução de emissão de CO₂ em 35% por tonelada milha em comparação aos navios capesize (156 mil toneladas de capacidade). Os Valemax de primeira geração são 35 navios que foram desenhados e projetados pela Vale. Apesar da Vale não ser proprietária desses navios, eles são contratados pela Vale e serão utilizados até o fim de sua vida útil.

Em 2016 a Vale iniciou a construção de um segunda geração de Valemax que compreende 32 navios novos. Esses navios possuem a mesma capacidade da primeira geração, mantendo assim o ganho de escala, e adicionalmente eles emitem 41% menos CO₂ por tonelada milha comparado com os capesize 2011 e 16% a menos quando comparados aos Valemax da primeira geração devido incorporação de novas tecnologias tornando assim o navio mais eficiente .

Em continuidade da iniciativa de ganho de escala e melhora da eficiência, em 2019 a Vale colocou em operação 47 Guaibamax com capacidade para 325 mil toneladas de minério, que são navios menos grandes que o Valemax mas permitem um ganho de escala em portos que não possuem as condições adequadas para atracar o Valemax. O Guaibamax além de trazer mais flexibilidade tanto para os portos de origem quanto para os portos de destino, também emitem 38% a menos de CO₂ quando comparado ao capesize de 2011.

[...]Então já tivemos iniciativas de contratação da construção de navios maiores e com melhores tecnologias, mais eficientes para reduzir a emissão.[...](Entr. Diretor)

Dentro do programa *ecoshipping* existem uma série de iniciativas que estão sendo estudadas de forma que as metas de redução de emissão CO₂ sejam atingidas. Dentre essas iniciativas, seis já estão entrando em fase piloto, que são elas:

1 – Wind Engines - são cilindros instalados no convés do navio. Quando o vento encontra esses cilindros, um diferencial de pressão é criado, criando impulso em um ângulo de 90 graus em relação ao vento induzindo a geração de energia como mostrado na Figura 15 (Kuuskoski, 2017). A expectativa é de um ganho de 10% em eficiência energética .

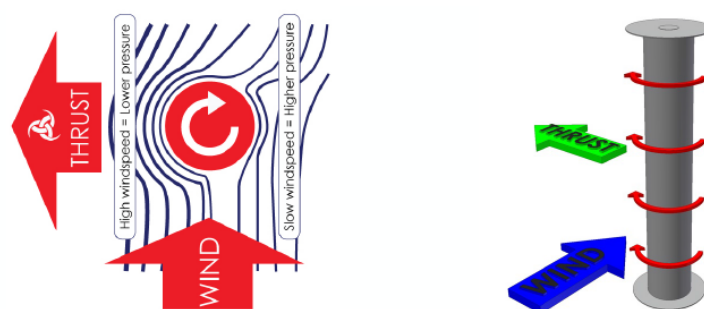


Figura 15 - Solução wind engines. Fonte: (Kuuskoski, 2017)

2 – Propeller Boss Cap Fins (PBCF)— é um dispositivo de economia de energia que aumenta a eficiência da hélice de propulsão, exigindo menos energia para impulsionar a embarcação para a frente a uma determinada velocidade (Mizzi et al., 2017) (Figura 16). Serão feitos 4 testes piloto no ano de 2020.

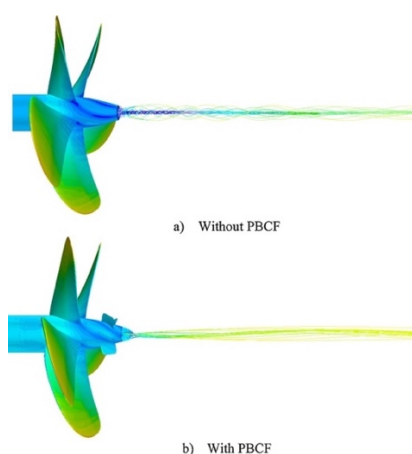


Figura 16 - Hélice padrão e com o dispositivo PBCF. Fonte: (Mizzi et al., 2017)

3 – Air Lubrification – tecnologia onde o ar é injetado na camada entre o casco e a água, geralmente através de um slot, material poroso ou placa perfurada formando bolhas. As bolhas atuam para reduzir a densidade da mistura de água e ar e modificar atrito entre o casco e a água (Mäkiharju, Perlin, & Ceccio, 2012).

4 – Fleet modeling & Data Analytics – modelo de otimização de frota que busca alocar os navios de forma a reduzir a emissão de CO₂. É um sistema que já existe na Vale com objetivo de redução de custo e agora será utilizado para redução de emissões. O modelo consiste em tomar decisões de como alocar a frota de navios.

5 – Hull coating and cleaning – Utilização de robôs para a limpeza dos cascos dos navios com o objetivo de retirar sedimentos que aderem no casco. Esses sedimentos aumentam o atrito com a água consumindo mais combustível durante as viagens.

A limpeza do casco é um processo super complexo, demorado e perigoso, a utilização de robôs pode tornar o processo mais simples podendo ser feito com maior frequência. (Entr. Diretor)

6 – Alternative Fuels – Utilização de LNG como combustível alternativo. O LNG é o gás natural liquefeito que foi resfriado para um estado líquido, a cerca de -260 ° Fahrenheit, para transporte e armazenamento. O volume de gás natural em seu estado líquido é cerca de 600 vezes menor que seu volume em seu estado gasoso. Possui menores emissões de GEE do que os derivados de petróleo, é competitivo em preços e já é usado em parte da frota (Smith, Raucci, Sabio, & Argyros, 2014).

No caso da navegação da Vale é importante frisar que os esforços para se alcançar as metas relativas a redução de CO₂ até 2030 em 40% são diferentes dos esforços para reduzir 50% até 2050. Até 2030 a meta deverá ser atingida com a frota atual pois esses navios estarão na sua vida útil podendo navegar até mesmo além de 2030. Já para 2050, a Vale deverá construir novos navios com diferentes tecnologias, podendo ser uma outra geração de navios mais eficiente, o que proporciona um maior grau de liberdade quando comparado aos esforços para 2030.

Outras iniciativas com tecnologias com um baixo grau de maturidade estão sendo estudadas pela navegação como a captura de carbono que consiste em capturar o carbono emitido e congelar. Após esse processo o carbono é depositado no fundo do mar de modo que a temperatura e pressão não permitam a volta do carbono à superfície (Energy.gov, 2020). Pode-se citar também a utilização de baterias para a propulsão dos motores, energia nuclear, células de combustíveis e biocombustíveis.

Ainda dentro do escopo 3 está o impacto dos produtos da Vale na emissão de CO₂ na siderurgia. Outras iniciativas estão sendo estudadas, que impactam na gama de produtos produzidos pela Vale. Esses estudos ainda estão se iniciando e, como tal, não foram objeto deste estudo de caso.

Portanto, conforme sugerido por Segura-Salazar e Tavares (2018) e as evidências coletadas durante esta pesquisa que a inovação tecnológica responsável explica a prática da sustentabilidade pelo setor da mineração conforme ilustrado na Figura 17 e ratifica a atuação em suas três dimensões:

- Dimensão social – como as inovações podem impactar as comunidades no âmbito social dentro e fora da empresa;
- Dimensão ambiental – como as inovações podem impactar o meio ambiente no âmbito da utilização dos recursos naturais e pelas emissões de poluentes;
- Dimensão econômica – como as inovações podem impactar a eficiência econômica. Para as empresas essa dimensão significa praticamente sua existência no âmbito da obtenção de lucro e geração de vantagens competitivas nos mercados onde atuam.

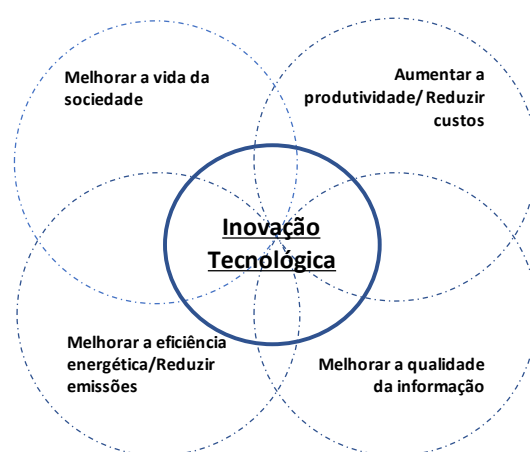


Figura 17 - Interações da tecnologia com as demais dimensões da sustentabilidade. Elaborado pelo autor.

4.7 Contribuições Práticas

O cenário desafiador e mudanças na economia mundial indicam que caminho a ser seguido pelo setor de mineração deva ser baseado em inovações e desenvolvimento de novas tecnologias com foco principalmente na sustentabilidade socioambiental de toda a cadeia de valor (Mesquita et al., 2016).

O estudo de caso da Vale mostrou que o futuro do setor de mineração necessita de iniciativas que busquem soluções para os desafios comuns, integrando mineradoras, fornecedores, startups

e pesquisadores, gerando oportunidades para diferentes atores da mineração e contribuindo assim, para a transformação do setor.

Os resultados mostram que podemos de forma geral dizer que as empresas do setor da mineração terão que adotar um novo pacto com a sociedade, tornando seus processos mais sustentáveis mesmo que isso signifique perda de receita no curto prazo. Com base na Agenda 2030 da ONU e particularmente no acordo de Paris, existe um problema urgente a ser solucionado que é o aquecimento global, e a inovação orientada para a sustentabilidade se mostra uma variável crítica para viabilidade de novos projetos de mineração. As empresas precisam integrar no planejamento de longo prazo investimentos que podem ser justificados pelos preços diretos e indiretos de emissões para mitigação de impactos econômicos futuros.

Através da estratégia adotada na pesquisa, de triangulação entre entrevistas com funcionários da Vale, dados secundários e a literatura, a Tabela 8 ilustra as principais iniciativas adotadas pela empresa para o reposicionamento do setor com foco na sustentabilidade.

Tabela 8 - Triangulação entre entrevistas com funcionários da Vale, dados secundários e a literatura.

Objetivos propostos pela ONU "Agenda 2030"	Meta da Vale	Inovação do setor de mineração segundo revisão da literatura	Inovação da Vale	Percepção quanto às inovações pelos entrevistados	Dados Secundários Analisados
Objetivo 6. Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos	Reduzir a captação de água para uso em processos produtivos em 10% no uso específico até 2030.	- Redução significativa do uso de água doce nas operações de mineração. - eliminar completamente o uso de rejeitos tradicionais em todas as novas operações - reciclar a água em mais de 80%;	Projeto S11D: - Processamento do minério de ferro a umidade natural, essa tecnologia permitiu a redução de 93% do consumo de água em relação ao processo convencional. - Não é necessário barragem de rejeitos .	A Vale já tinha grandes projetos como por exemplo concentração produção umidade natural do S11D cujo processo não requer água para beneficiar o minério. Então assim, tem grandes exemplos projetos de P&D que afeta especificamente a sustentabilidade e já deram retorno.	A iniciativa praticamente elimina o consumo de água no processo, economizando baseado em processos convencionais uma quantidade de água para abastecer uma cidade de 400 mil habitantes. Elimina também uma grande quantidade de rejeitos que seriam direcionados para uma barragem.
Objetivo 9. Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação Objetivo 12. Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos marinhos para o desenvolvimento sustentável Objetivo 14. Conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos	Reduzir a emissão de CO2 em 33% até 2030 e torna-se carbono neutro até 2050. 100% de autoprodução de energia limpa globalmente.	Várias empresas já estão usando fontes renováveis para alimentar parcialmente seus sites como geotérmicas, solar, eólicas para compensar parte de sua dependência do diesel. - Automação, digitalização e eletrificação reformulando o setor como: veículos autônomos, incluindo caminhões de transporte, carregadeiras e trens de longa distância; centros operacionais remotos; perfuração automatizada; SIG / GPS; drones; sensores inteligentes; tecnologia utilizável; e aprendizado de máquina.	Implantação de projetos de geração de energia eólica e solar Desenvolvimento de caminhões elétricos fora de estrada e locomotivas elétricas Construção de navios maiores e mais eficientes devido a incorporação de novas tecnologias. A Vale está estudando para reduzir as emissão as seguintes tecnologias: 1 – Wind Engines 2 – Propeller Boss Cap Fins (PBCF) 3 – Air Lubrification 4 – Fleet modeling & Data Analytics 5 – Hull coating and cleaning 6 – Alternative Fuels	A Vale já tem 60% da matriz energética de fontes renováveis, grande parte é hidráulica. O desenvolvimento de caminhões elétricos fora de estrada e locomotivas elétricas cuja as exigências requeridas são muito superiores a carros elétricos de passeio, principalmente no que requer uma bateria. Pode-se exemplificar as tecnologias utilizadas para aquisição de dados como a utilização de AI, machine learning, deep learning, realidade aumentada (VR). Existem iniciativas de contratação da construção de navios maiores e com melhores tecnologias, mais eficientes para reduzir a emissão. A limpeza do casco é um processo super complexo, demorado e perigoso, a utilização de robôs pode tornar o processo mais simples podendo ser feito com maior frequência.	A Vale estruturou um roadmap de iniciativas reestruturação da matrix energética com a inserção de fontes eólica e solar: - parques eólicos Acauã e Gravier (180 MW); - fornecimento de energia de longo prazo, referente ao parque eólico da Folha Larga Sul (151,2 MW) As tecnologias de eletrificação dos equipamentos de minas têm o potencial de reduzir as emissões: - Caminhão fora de estrada híbrido – redução de até 70% de emissões Os novos navios VLOCs segunda geração – minareiros de grande porte – são 20% mais eficientes em termos de consumo de energia e emissões - Locomotivas elétricas – redução de 100% de emissões

Capítulo 5

Conclusão

Esta pesquisa objetivou examinar a tendência das empresas de mineração na implementação de inovação tecnológica orientada à sustentabilidade correlacionado à atividade fim - lavra, beneficiamento, estocagem e transporte do minério. Para isso foi utilizada abordagem da literatura que conceituam as necessidades do setor para que ele se reposicione perante os desafios exigidos pela sociedade e alinhados com as metas de desenvolvimento sustentável propostas pela Organização das Nações Unidas chamado “Agenda 2030”. Foi utilizado um método indutivo e qualitativo baseado em evidências primárias e secundárias da Vale. Essa estratégia de pesquisa possibilitou responder às perguntas propostas pela investigação.

- Como a inovação tecnológica está mudando/ajudando a mineração, indústria considerada de baixa tecnologia, a tornar seus processos sustentáveis?

A pesquisa evidenciou que a Vale tem buscado inovar em seu processos buscando novas tecnologias que tornem o negócio sustentável principalmente voltado a neutralização das emissões de CO₂ de forma a reduzir o impacto das suas atividades no aquecimento da temperatura do planeta. Apesar do setor de mineração ser reconhecidamente um setor conservador, a Vale tem buscado tecnologias um pouco mais disruptivas equalizando o portfólio de projetos. Todos os entrevistados deixam claro que o único caminho, mesmo que desafiador devido ao baixo nível de maturidade das novas tecnologias requeridas, é o caminho da inovação. Diversos testes em campo estão programados para os próximos anos, com o intuito de validar tecnologias em condições reais de operação.

- Como a mineração está caminhando pela trajetória delineada pela conjuntura mundial no âmbito do desenvolvimento sustentável?

As evidências sugerem que existe uma convergência quando se trata da sustentabilidade do setor. Haja visto a união das maiores empresas do setor, deixando a competitividade comercial dos produtos de lado, para buscar soluções inovadoras viáveis que permitam que as empresas correspondam aos anseios da sociedade alinhados com as resoluções da ONU. A pesquisa mostra que o objetivo maior é mudar a percepção da sociedade perante a atividade mineral com atitudes práticas e mensuráveis com o atingimento de metas estabelecidas globalmente. Esse movimento passou a ser um fator de qualificação para continuar no mercado.

Particularmente a Vale tornou a sustentabilidade o seu pilar mais importante que pode ser ilustrado de forma prática na forma de mensurar a viabilidade dos projetos. Projetos, antes considerados financeiramente inviáveis, tornaram-se viáveis após a adoção de um preço interno de carbono de US\$ 50 a tonelada de CO₂ equivalente, a ser utilizado nos estudos de viabilidade econômica de projetos.

Limitações da pesquisa e recomendações para estudos futuros

O estudo apresenta algumas limitações relacionando aos resultados efetivos das adoções de novas tecnologias no atingimento das metas descritas na pesquisa. Isso se deve às datas limites para atingimentos das metas estarem previstas para datas futuras, mais precisamente 2030, em relação a data de realização da pesquisa.

Outro fator limitante é em relação a resultados intermediários que não podem se tornar públicos devido a Vale ser uma empresa de capital aberto, com ações negociadas em bolsa de valores do Brasil, Nova York e Madri, fazendo com que os números só sejam divulgados por canais oficiais da empresa. Isso torna restrito a quantidade das evidências coletadas.

Sendo assim, sugere-se a realização de um novo estudo na própria Vale em 2030 e também com outras empresas do setor de mineração em busca de explicações e análises comparativas sobre a adoção e desenvolvimento de novas tecnologias orientadas para a sustentabilidade e como está a difusão de tecnologias na indústria de mineração. Sugere-se também um estudo de inovação tecnológica voltado para a cadeia de fornecedores da mineração.

Capítulo 6

Referências Bibliográficas

- Assembly, U. (2012). *Resolution adopted by the Human Rights Council, No. A/HRC/RES/19/20. The role of good governance in the promotion and protection of human rights.*
- Azapagic, A. (2004). Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry. *Journal of cleaner production*, 12(6), 639-662.
- Batterham, R. (2014). Lessons in sustainability from the mining industry. *Procedia Engineering*, 83, 8-15.
- BHP. (2019). *Environmental Sustainability*. Retrieved from Recuperado de <https://www.bhp.com/community/environmental-sustainability/> em 12/04/2020:
- Brundtland, G. H., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., & Chidzero, B. (1987). Our common future. *New York*, 8.
- Childs, J. (2014). A new means of governing artisanal and small-scale mining? Fairtrade gold and development in Tanzania. *Resources Policy*, 40, 128-136.
- Clark, W. C. (2007). Sustainability science: a room of its own: National Acad Sciences.
- Conway, G. R. (1987). The properties of agroecosystems. *Agricultural systems*, 24(2), 95-117.
- Crowson, P. (2019). World minerals trade: a comment. *Mineral Economics*, 1-10.
- de Oslo, M. (1997). Manual de Oslo. Recuperado de <http://gestiona.com.br/wpcontent/uploads/2013/06/Manual-de-OSLO-2005.pdf>.
- DiLallo, M. (2019). The 10 Biggest Mining Stocks. Retrieved from <https://www.nasdaq.com/articles/the-10-biggest-mining-stocks-2019-10-12>.
- Elkington, J., & Rowlands, I. H. (1999). Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business. *Alternatives Journal*, 25(4), 42.
- Energy.gov. (2020). Carbon Capture, Utilization and Storage Research.
- Figueiredo, P. N., & Piana, J. (2016). When “one thing (almost) leads to another”: A micro-level exploration of learning linkages in Brazil's mining industry. *Resources Policy*, 49, 405-414.
- Gruenhagen, J. H., & Parker, R. (2020). Factors driving or impeding the diffusion and adoption of innovation in mining: A systematic review of the literature. *Resources Policy*, 65, 101540.
- Haberl, H., Wackernagel, M., & Wrbka, T. (2004). Land use and sustainability indicators. An introduction: Elsevier.

- IGF. (2018). Intergovernmental Forum on Mining, Minerals, Metals and Sustainable Development (IGF). (2018). . *Innovation in Mining: Report to the 2018 International Mines Ministers Summit*. Winnipeg: IISD.
- Karakaya, E., & Nuur, C. (2018). Social sciences and the mining sector: Some insights into recent research trends. *Resources Policy*, 58, 257-267.
- Kuuskoski, J. (2017). Norsepower rotor sail solution.
- Lane, A. (2016). Innovation in Mining. *Recuperado de <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/Energy-and-Resources/gx-za-en-innovation-in-mining.pdf> em 6/04/2020.*
- Laurino, B. I., Preto, C. T. d. J. O., & Junior, C. d. P. F. (2020). Análise do acidente em Brumadinho/Minas Gerais. *Brazilian Journal of Natural Sciences*, 3(1), 231-231.
- Lazarenko, Y., Garafonova, O., Grigashkina, S., & Verezomska, I. (2019). *Towards an Integrated Approach to Improving Innovation Management System of Mining Companies*. Paper presented at the E3S Web of Conferences.
- Luz, A. B. d., Sampaio, J. A., & França, S. C. A. (2010). Tratamento de minérios. *CETEM/MCT*.
- Mackay, T., & Bangerter, P. (2006). Innovating your way to sustainability in the mining and mineral processing industries. *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy*, 106(10), 695-696.
- Mäkiharju, S. A., Perlin, M., & Ceccio, S. L. (2012). On the energy economics of air lubrication drag reduction. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 4(4), 412-422.
- Mesquita, P. P. D., Carvalho, P. S. L. d., & Ogando, L. D. (2016). Desenvolvimento e inovação em mineração e metais.
- Mizzi, K., Demirel, Y. K., Banks, C., Turan, O., Kaklis, P., & Atlar, M. (2017). Design optimisation of Propeller Boss Cap Fins for enhanced propeller performance. *Applied Ocean Research*, 62, 210-222.
- Moles, R., Foley, W., Morrissey, J., & O'Regan, B. (2008). Practical appraisal of sustainable development—Methodologies for sustainability measurement at settlement level. *Environmental Impact Assessment Review*, 28(2-3), 144-165.
- Mundo, T. N. (2016). a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. *Recuperado de http://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf em 27/05/2020, 15.*
- Oliveira, V. d. C., & Oliveira, D. d. C. (2019). A semântica do eufemismo: mineração e tragédia em Brumadinho.
- Organization, I. M. (2018). *Adoption Of The Initial Imo Strategy On Reduction Of GHG Emissions From Ships And Existing Imo Activity Related To Reducing Ghg Emissions In The Shipping Sector*. Retrieved from https://unfccc.int/sites/default/files/resource/250_IMO%20submission_Talanoa%20Dialogue_April%202018.pdf:
- Palmeira, F. M. d. F. (2013). *Sistema Truckless: uma alternativa sustentável ao setor de mineração brasileiro*. Tese de mestrado da Universidade Federal de Ouro Preto.
- Pamplona, J. B., & Cacciamali, M. C. (2018). A maldição dos recursos naturais: atualizando, organizando e interpretando o debate. *Economia e Sociedade*, 27(1), 129-159.
- Robertson, P., Smith, K., & Von Tunzelmann, N. (2009). Innovation in low-and medium-technology industries. *Research Policy*, 38(3), 441-446.

- Segura-Salazar, J., & Tavares, L. M. (2018). Sustainability in the minerals industry: seeking a consensus on its meaning. *Sustainability*, 10(5), 1429.
- Singh, N. (2017). Weathering the 'perfect storm' facing the mining sector. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 117(3), 223-229.
- Smith, T., Raucci, C., Sabio, N., & Argyros, D. (2014). Global Marine Fuel Trends 2030.
- Teixeira, L. A. V. T., Caldara, A., & Junges, M. F. D. (2019). Sistema de Inovação Integrada Vale: Conectando P&D ao Negócio. *20o Simpósio de Mineração, parte integrante da ABM Week 2019, realizada de 01 a 03 de outubro de 2019, São Paulo, SP, Brasil*.
- Tinto, R. (2019). *Sustainability Reporting*. Retrieved from <https://www.riotinto.com/sustainability/sustainability-reporting>.
- Vale. (2017). Relatório de Sustentabilidade 2017. Recuperado de http://www.vale.com/PT/investors/information-market/annual-reports/sustainability-reports/Sustentabilidade/v_VALE_RelatorioSustentabilidade_2017_v.pdf em 24/03/2020.
- Vale. (2018). Vale Day 2018. Recuperado de http://www.vale.com/PT/investors/information-market/presentations-webcast/PresentationsWebCastDocs/Vale%20Day%202018_p.pdf em 1/06/2020.
- Vale. (2019a). *Como a Vale está endereçando as mudanças climáticas*. Paper presented at the XIXth Analyst & Investor Tour, Nova York.
- Vale. (2019b). Relatório de Sustentabilidade 2019. Recuperado de http://www.vale.com/PT/investors/information-market/annual-reports/sustainability-reports/Sustentabilidade/Relatorio_sustentabilidade_vale_2019_alta_pt.pdf em 20/04/2020.
- Vale. (2019c). Vale Day 2019. Recuperado de http://www.vale.com/PT/investors/information-market/presentations-webcast/PresentationsWebCastDocs/Vale%20Day%20NY%202019_p.pdf em 1/05/2020.
- Vale. (2020a). BofA-ML Global Metals, Mining & Steel Conference. Recuperado de http://www.vale.com/PT/investors/information-market/presentations-webcast/PresentationsWebCastDocs/Vale_BAML_May_2020-Portugues.pdf em 2/05/2020.
- Vale. (2020b). Desempenho da Vale do 4T19. Recuperado de <http://www.vale.com/brasil/PT/investors/information-market/quarterly-results/Paginas/default.aspx>.
- Vale. (2020c). Pesquisa e Desenvolvimento. Recuperado de http://www.vale.com/brasil/PT/sustainability/innovation/Paginas/pesquisa_e_desenvolvimento.aspx.
- Von Tunzelmann, N., & Acha, V. (2005). Innovation in “low-tech” industries *The Oxford handbook of innovation*.
- Worrall, R., Neil, D., Brereton, D., & Mulligan, D. (2009). Towards a sustainability criteria and indicators framework for legacy mine land. *Journal of cleaner production*, 17(16), 1426-1434.
- Yin, R. K. (2015). *Estudo de Caso-: Planejamento e métodos*: Bookman editora.
- Zanni, P. P., Moraes, G., & Mariotto, F. L. (2011). Para que servem os Estudos de Caso Único. *Associação Nacional de pós-graduação e pesquisa em administração, ANPAD, Rio de Janeiro. Anais de 2011*.

ANEXO I – Roteiro de Entrevista

Blocos	Objetivos Específicos	Questões	Questões auxiliares
Sustentabilidade	Relevância da sustentabilidade para a estratégia de inovação da sua empresa	Quão relevante é a sustentabilidade para a estratégia de inovação da sua empresa?	Até que ponto as atividades de inovação da sua empresa contribuem para a inovação voltada para a sustentabilidade na cadeia de valor?
	Importância dos aspectos de sustentabilidade	A estratégia de inovação da sua empresa contribui para os objetivos econômicos, sociais e ambientais.	
	Principais objetivos da estratégia de inovação orientada à sustentabilidade da sua empresa	Quais são os principais objetivos da estratégia de inovação orientada à sustentabilidade da sua empresa?	
	Principais fatores para a integração da sustentabilidade com a Estratégia de Inovação da sua empresa	Quais são os principais fatores determinantes ou determinantes para a integração da sustentabilidade na Estratégia de Inovação da sua empresa?	O que você considera que impulsiona a inovação na sua empresa? Ex. requisitos de clientes, ONGs, movimentos ou regulamentos dos concorrentes e padrões de mercado); Capacidades internas (por exemplo, competência tecnológica própria); Cadeia de valor

			externa / rede de valor (por exemplo, requisitos de fornecedores, parceiros de tecnologia); Os valores corporativos da sua empresa;
	Medidas para implementar a gestão da inovação orientada para a sustentabilidade	Que ações sua empresa está adotando para implementar o Gerenciamento da Inovação Orientada à Sustentabilidade?	
A – Inovação Tecnológica	Levantar a percepção de mudanças operacionais com a implementação de novas tecnologias	Você tem notado avanços na inovação tecnológica no setor de mineração?	Você pode citar alguns exemplos de novas tecnologias implantadas na sua empresa?
			Você saberia dizer qual o objetivo de se implantar essas tecnologias?
			Você teria algum resultado prático/evidência após a implantação dessas tecnologias?
			Você sabe me dizer qual foi o investimento em inovações nos últimos anos?
			Você saberia me dizer se as tecnologias inovadoras são aplicadas na sua como: a utilização de inteligência artificial (IA), aprendizado de máquina (ML), internet das coisas (IIoT), realidade virtual

			(VR), drones e sistemas autônomos de condução.
			Você poderia falar um pouco sobre empregados primários, terceiros e parcerias que a sua empresa possui orientados para o Desenvolvimento e Pesquisa?
	A escala de energia usada no setor de mineração é significativa. Quais as iniciativas para diminuir o impacto	Até que ponto os valores corporativos e as crenças culturais da sua empresa reconhecem explicitamente a sustentabilidade como um fator determinante.	Sua empresa passou adotar alguma fonte de energia limpa?
		Sabendo que a energia utilizada na mineração é bastante significativa, existe alguma adoção de fontes de energia renováveis pelo setor de mineração?	Sua empresa passou adotar alguma fonte de energia limpa?
			Existe algum indicador de eficiência energética na empresa?
			Você poderia compartilhar algum KPI referente a utilização de energia limpa em detrimento a energia fóssil?
			Você pode citar algum processo que você participa diretamente o indiretamente

			que mudou a fonte principal de energia?
	Obter informações que ilustrem a redução do uso específico de água	Das inovações implantadas pela sua empresa, você conhece alguma para a redução do consumo específico de água?	Em caso afirmativo, qual foi a redução provocada por essa tecnologia?
			Você poderia compartilhar algum KPI referente a utilização de água nova?
	Conhecer a iniciativas da empresa para reduzir a emissão de Gases do Efeito Estufa	Das inovações implantadas pela sua empresa, você saberia me dizer alguma relacionada/com o objetivo de reduzir as emissões de GEE?	Você dispõe de algum dado que ilustra a redução de gases GEE pela na sua empresa?
	Pontos gerais de desempenho de negócios:	Como a gestão da inovação orientada à sustentabilidade contribuiu para o desempenho geral dos negócios da sua empresa?	Pontos a se avaliar: Taxa de variação nas vendas; Taxa de variação no EBIT; Taxa de redução de emissão de CO ₂ ; Taxa de redução do consumo de energia; Taxa de variação na receita de novos produtos / serviços voltados para a sustentabilidade, introduzidos nos últimos três anos; Taxa de redução de custos através de inovações de processos orientadas à sustentabilidade nos últimos três anos; Taxa de variação da receita proveniente dos novos

			modelos de negócios orientados à sustentabilidade dos últimos três anos; Taxa de variação no número de empregos permanentes; Taxa de variação no número de funcionários que se beneficiam de horários flexíveis de trabalho (por exemplo, país); Taxa de variação nos programas de segurança e saúde; Taxa de variação na taxa de rotatividade de funcionários.
--	--	--	--
