

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

HUGO TARCISIO ALMEIDA DE SOUZA

**ECOSSISTEMAS E ARRANJOS INOVATIVOS NA MINERAÇÃO: O CASO DA
VALE**

UBERLÂNDIA – MG

2023

HUGO TARCISIO ALMEIDA DE SOUZA

**ECOSSISTEMAS E ARRANJOS INOVATIVOS NA MINERAÇÃO: O CASO DA
VALE**

Monografia apresentada ao Instituto de Economia e
Relações Internacionais por meio da disciplina de
Monografia II, da Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial para a Conclusão
do Curso de Bacharelado em Ciências Econômicas.

Área de Concentração: Economia Industrial

Orientador: Prof. Dr. Germano Mendes de Paula

UBERLÂNDIA – MG

2023

Hugo Tarcisio Almeida de Souza

**ECOSSISTEMAS E ARRANJOS INOVATIVOS NA MINERAÇÃO: O CASO DA
VALE**

Monografia apresentada ao Instituto de Economia e
Relações Internacionais por meio da disciplina de
Monografia II, da Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial para a Conclusão
do Curso de Bacharelado em Ciências Econômicas.

Orientador: Prof. Dr. Germano Mendes de Paula

BANCA EXAMINADORA
Uberlândia – MG, 23 de junho de 2023

Professor Dr. Germano Mendes de Paula (Orientador)

Professora Dra. Marisa dos Reis Azevedo Botelho

Professora Dra. Marisa Silva Amaral

RESUMO

O estudo visa analisar a intensidade das interações da mineradora Vale com os diversos atores de seus ecossistemas de inovação. A abordagem ecossistêmica permite uma visão ampla dos vários modelos de inovação, o que auxilia na compreensão das estratégias de empresas de setores de baixa intensidade inovativa. O referencial teórico elencado acompanha a evolução do conceito de inovação, desde o pensamento clássico até as recentes análises sobre os ecossistemas de inovação, Hélice Tripla e Inovação Aberta. A partir dos dados coletados e das bibliografias aplicadas, é possível relatar um processo de inovação lento e incremental por parte da Vale, com uma aceleração a partir de 2015. As inovações que ocorreram na empresa sempre foram produzidas por terceiros, mesmo que a idealização tenha sido interna. Os resultados obtidos revelaram que os ecossistemas de inovação da empresa são densos em atores, com intensas interações, voltados a inovações incrementais e com foco em redução de custos e aumento de produtividade. Os principais motores dos ecossistemas de inovação da Vale são as metas ambientais e a sustentabilidade por meio da inovação.

Palavras-Chave: Inovação, Ecossistemas de Inovação, Economia Industrial, Estratégias Empresariais, Mineração.

ABSTRACT

This study aims to analyze the intensity of interactions between the mining company Vale and the various actors within its innovation ecosystems. The ecosystemic approach provides a broad view of various innovation models, which helps in understanding the strategies of companies in low innovation-intensive sectors. The theoretical framework presented follows the evolution of the innovation concept, from classical thinking to recent analyses on innovation ecosystems, Triple Helix, and Open Innovation. Based on the collected data and applied bibliographies, it is possible to report a slow and incremental innovation process by Vale, with an acceleration starting in 2015. The innovations that occurred within the company have always been produced by third parties, even if the ideation was internal. The obtained results revealed that the company's innovation ecosystems are dense in actors, with intense interactions, focused on incremental innovations, cost reduction, and productivity enhancement. The main drivers of Vale's innovation ecosystems are environmental goals and sustainability through innovation.

Keywords: Innovation, Innovation Ecosystems, Industrial Economics, Business Strategies, Mining.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama do ciclo de vida dos Ecossistemas Empresariais e de Inovação de Moore.	25
Figura 2: Patentes como eventos no espaço tridimensional das interações da Tríplice Hélice	29
Figura 3: Representações geométricas da organização das interações no modelo da Hélice Tripla.	30

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Balança comercial brasileira - Minérios, escórias e cinzas (2000 a 2022 - US\$ FOB*)	39
Gráfico 2: Balança comercial brasileira - Minérios, escórias e cinzas (2000 a 2022 – quilograma líquido)	39
Gráfico 3: Exportação e Produção de minério de ferro da Vale* (2003 a 2022 - Milhões de toneladas métricas)	48
Gráfico 4: Percentual dos 10 maiores fornecedores de insumos, equipamentos e serviços em relação ao total de compras da Vale (2010 a 2021 - %).....	56
Gráfico 5: Passivos da Vale com fornecedores e empreiteiros em proporção à Receita Líquida Operacional* (2007 a 2022 - %).....	57
Gráfico 6: Valor adicionado líquido da Vale (2007 a 2022 - bilhões de Reais*).....	64
Gráfico 7: Gastos da Vale com P&D (2003 a 2022 - bilhões de Reais*).....	65
Gráfico 8: Esforço Tecnológico da Vale – relação entre P&D e VAL (2007 a 2022 - %).	69
Gráfico 9: Quantidade de Patentes depositadas no INPI pela Vale anualmente (1977 a 2022).	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: As cinco maiores empresas brasileiras de mineração (2022).....	40
Quadro 2: Categorias de equipamentos adquiridos e principais fornecedores da Vale (2010 a 2021).....	52
Quadro 3: Esforço tecnológico em segmentos industriais brasileiros da indústria de transformação (2000, 2005 e 2011 - %).	68
Quadro 4: Resultados dos programas M-Spot e M-Start e Participação Vale nestes.....	79

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1. REFERENCIAL TEÓRICO	12
1.1 O conceito de inovação e as principais teorias derivadas	12
1.2 O que são os ecossistemas de inovação	21
1.2.1 O Modelo da Hélice Tripla	27
1.2.2 Inovação aberta	31
1.2.3 Diversidade de fontes de inovação	32
2. OS ARRANJOS INOVATIVOS NA INDÚSTRIA MINERAL	34
2.1 Uma síntese da mineração	34
2.2 Arranjos inovativos e a inovação aberta na mineração	42
2.3 Uma descrição da Vale	46
3. UMA ANÁLISE DOS ECOSISTEMAS INOVATIVOS DA VALE: ESTRUTURAÇÃO E INTENSIDADE	50
3.1 Análise das interações em que a Vale se insere e a relação com fornecedores especializados	51
3.2 Esforço tecnológico da Vale: adoção ou criação de inovações?	63
3.2.1 A respeito das patentes	73
3.3 Projetos de inovação aberta	76
CONSIDERAÇÕES FINAIS	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
ANEXOS	98

INTRODUÇÃO

A inovação, por ser uma atividade muito importante para o desenvolvimento produtivo da economia mundial, está diretamente ligada ao processo de tomada de decisão de empresas, que geralmente a destacam como um objetivo primordial. Conforme pontuam Bingwen e Huibo, (2010, p. 119), “uma gestão eficaz da inovação é a chave para o sucesso corporativo, a capacidade tecnológica e o desenvolvimento econômico sustentável”.

A evolução conceitual da inovação envolve teorias que remontam a Smith e Ricardo, evidenciando o progresso tecnológico, até Schumpeter, que enfatiza o fenômeno da inovação e sistematiza seu papel na economia capitalista. No século XX, os nomeados teóricos evolucionários iniciaram as análises a respeito da dinâmica inovativa das firmas, observando sua constante busca em alavancar produtos e processos em um ambiente competitivo (VIEIRA, 2010).

Mais do que uma atividade capaz de transformar uma ideia ou invenção num bem ou serviço, como é usualmente interpretada, a inovação pode envolver diversas dinâmicas e inúmeros atores. Desta forma, o conceito de ecossistemas de inovação foi elaborado para que as várias interações envolvidas no processo inovativo sejam pormenorizadas, entendendo como cada ator contribui para o desenvolvimento tecnológico (PAIVA et al., 2018).

O conceito de ecossistemas de inovação foi desenvolvido no século XXI, e pode ser compreendido como uma modernização do pensamento clássico da inovação. Outrossim, pode ser categorizado como um “conjunto evolutivo de atores, atividades e artefatos, e as instituições e relações, incluindo relações complementares e substitutas, que são importantes para o desempenho inovador de um ator ou uma população de atores” (GRANDTRAN & HOLGERSSON, 2020, p. 3). Com isto, a abordagem ecossistêmica se ajusta ao contexto mundial altamente conectado, o que facilita uma maior intensidade de interações que podem originar novas tecnologias rapidamente.

A mineração, por ser um setor tradicional, com um lento processo de desenvolvimento inovativo e que frequentemente adota tecnologias incrementais, se mostra uma indústria propensa às interações de um ecossistema de inovação, possivelmente pela rapidez e menor custo de seus resultados. A Vale demonstra essa tendência inovativa que o setor tem, sendo um importante player da extração mineral a nível mundial. Com um valor de capitalização de mercado de US\$ 79,14 bilhões no final do exercício de 2022, a mineradora é a quarta maior do mundo nesta rubrica (MINING.COM, 2023; COMPANIESMARKETCAP, 2023).

A Vale, uma das líderes globais na produção de minério de ferro e níquel e com mais de 80 anos de operação, recentemente tem ampliado o investimento em novas tecnologias para minimizar impactos ambientais. Além disso, dispõe de uma vasta gama de fornecedores especializados e divulga estar ativamente introduzida em projetos de inovação e pesquisa e desenvolvimento (P&D), se tornando um importante caso para a compreensão das cadeias de interações presentes em ecossistemas de inovação na mineração (VALE, 2023).

Para entender de que forma e com qual intensidade evoluíram os ecossistemas de inovação da Vale, a pesquisa tem como hipótese que as interações existentes na empresa atuam de modo sistêmico, em que o resultado é o desenvolvimento do potencial inovativo de todos os atores envolvidos, mas supostamente com esforços e retornos distintos. Os resultados da Vale, no que tange à inovação, não são advindos de esforços de um único ator, mas de vários, que atendem à busca da mineradora por aumento de produtividade e redução de gastos e custos de produção.

O objetivo geral adotado compreende descrever e analisar os ecossistemas de inovação da Vale no período de 2000 a 2022, entendendo como uma empresa de um setor tradicional se comporta mediante as possibilidades e necessidades inovativas. Para alcançar o objetivo geral, foram elencados três objetivos específicos auxiliares: a) relatar a evolução do conceito de inovação até as teorias de ecossistemas de inovação; b) constatar o histórico, o padrão e os novos arranjos inovativos na mineração e na Vale e; c) contextualizar e analisar os ecossistemas de inovação da mineradora Vale.

Compreender os ecossistemas de inovação de uma empresa de um setor que tem grande impacto na cadeia industrial mundial é de grande importância para a estruturação e formação de novos arranjos inovativos. Além disso, o estudo de ecossistemas de inovação é relativamente recente e dispõe de poucas pesquisas sobre novos arranjos empresariais que focalizam a inovação. Assim, espera-se contribuir com informações relevantes para próximas pesquisas, à luz das teorias de ecossistemas e revisitando o pensamento clássico da inovação.

Para tal, o estudo foi dividido em quatro capítulos: o primeiro abarca as diversas teorias de inovação e a trajetória conceitual até o estudo dos ecossistemas de inovação e outras teorias complementares. O segundo analisa a inovação na indústria de mineração, destacando o histórico e as tendências inovativas, iniciando também uma discussão a respeito da Vale. O terceiro compreende uma descrição dos procedimentos metodológicos utilizados. Por fim, o quarto capítulo aborda uma análise pormenorizada das principais interações da Vale, verificando se há uma maior tendência em desenvolvimento ou difusão de inovações e quais as

principais formas de inovação observados na Vale, além dos motivos para inovar e a intensidade das relações.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 O conceito de inovação e as principais teorias derivadas

O conceito de inovação tem diversas vertentes e interpretações que, ao longo do tempo, formaram fortes teorias com diferentes caracterizações. Uma primordial bibliografia que relata o aprimoramento de processos e produtos de forma disruptiva remonta a Adam Smith, que investiga o tema “desenvolvimento econômico” em seu livro *A riqueza das Nações*, publicado pela primeira vez em 1776. Nesse contexto, a “divisão do trabalho” é vista como um mecanismo central na análise da dinâmica capitalista, embasando o entendimento de que o aumento da riqueza da nação seria por meio desta, segmentando as etapas de produção das mercadorias, o que permitiria a “produção de bens e o uso de técnicas que dependem intensamente em uma ampla variedade de bens e serviços intermediários especializados” (RODRÍGUES-CLARE, 1996, p. 4, *apud* PAIVA *et al.*, 2017).

Em sua obra, Smith detalha que o aprimoramento de todo o processo produtivo e do melhor desempenho das técnicas na produção parecem ter sido resultado da divisão do trabalho. Dessa forma, não é imprudente interpretar que a análise de Smith a respeito da divisão do trabalho, além de fornecer uma explicação do desenvolvimento do capitalismo, é o relato de uma forma de inovação de processo (PAIVA *et al.*, 2017).

Assim, como descreve Tigre (2006, p. 6), em um cenário anterior à primeira revolução industrial, o conceito de fábrica não existia, e “o aumento da produção dependia de um aumento proporcional dos fatores de produção utilizados” visto que não havia, nesse contexto, máquinas e processos organizacionais voltados à melhoria da produtividade. Então, quando Adam Smith escreveu *A Riqueza das Nações* no final do século XVIII, a revolução industrial já estava em um processo de evolução, lento, mas significativo, quando foi possível observar e relatar o aumento de produtividade a partir da divisão do trabalho. O exemplo que Smith (1988) descreve logo no primeiro capítulo de sua obra é a fabricação de alfinetes. De modo a demonstrar que um único trabalhador não conseguiria produzir um único alfinete em um dia, enquanto que, com a divisão do trabalho, vários operários, cada um com sua especialidade e função específica podem desempenhar uma produtividade muito superior, o autor expõe:

Um operário não treinado para essa atividade (que a divisão do trabalho transformou em uma indústria específica) nem familiarizado com a utilização das máquinas ali empregadas (cuja invenção provavelmente também se deveu à mesma divisão do trabalho), dificilmente poderia talvez fabricar um único alfinete em um dia, empenhando o máximo de trabalho; de qualquer forma, certamente não conseguirá

fabricar vinte. Entretanto, da forma como essa atividade é hoje executada, não somente o trabalho todo constitui uma indústria específica, mas ele está dividido em uma série de setores, dos quais, por sua vez, a maior parte também constitui provavelmente um ofício especial (SMITH, 1988, p. 17)

O desenvolvimento da divisão do trabalho e seu próprio conceito teórico se relacionam diretamente com o conceito de progresso técnico. Solow (1957, p. 312 *apud* PAIVA *et al.*, 2017) associa os dois conceitos a partir da definição de que ambos ampliam a razão produto por trabalhador e, desse modo, deslocam a função de produção. Os empecilhos que seguem os dois conceitos são explicitados por Smith a partir da preocupação com o tamanho do mercado, visto que, com a busca por novas técnicas para produzir com a menor quantidade possível de trabalho, a extensão do mercado limitaria a continuidade do progresso. Isto, para o autor, só seria possível em grandes cidades, pois o trabalhador teria maiores estímulos para se dedicar a um único trabalho. Por conseguinte, o raciocínio é expandido para o comércio internacional, com a premissa de que sua intensificação possibilitaria uma maior divisão do trabalho (TIGRE, 2006).

David Ricardo continua a análise da divisão internacional do trabalho, quatro décadas após a obra de Smith, em seus *Princípios de Economia Política e Tributação*, estudo originalmente publicado em 1817, tratando a questão do progresso técnico e, assim como Smith, admitindo que “o aumento do capital constitui a principal fonte de crescimento”. Porém, a abordagem que Ricardo tem a respeito do progresso técnico envolve a perda de empregos e salários dos trabalhadores pois, para ele, o aumento do capital teria como contrapartida um aumento proporcionalmente maior no uso de máquinas, o que substituiria o trabalho humano. O aumento da produção não interromperia a demanda de trabalho, mas esta seguiria aumentando em menores proporções e de forma decrescente (TIGRE, 2006, p. 15).

Outrossim, “os clássicos acreditavam que por meio do uso de máquinas seria possível aumentar simultaneamente a produtividade do trabalho, a produção e a oferta de mercadorias” (TIGRE, 2006, p. 16), o que levava ao pensamento de que o desemprego seria um estágio passageiro durante o progresso técnico e, posteriormente, a força de trabalho seria reintegrada ao mercado pela demanda advinda do aumento da produção. Posteriormente, Ricardo (1817) reformula e aperfeiçoa seu pensamento e passa a propor que a “reinversão dos lucros e a necessidade de amortizar o capital investido em máquinas levariam o benefício do aumento de produtividade para toda a sociedade por meio da redução de preços” (TIGRE, 2006, p. 16), com isto, elevando o consumo que, por sua vez, alimenta o investimento produtivo e gera a necessidade de empregar mais trabalhadores. Por fim, ele acaba corroborando com a visão de

Smith de que toda a sociedade é beneficiada pelo progresso técnico por meio da redução dos preços em relação aos rendimentos nominais (TIGRE, 2006).

Um dos pilares das teorias clássicas assume que a existência de concorrência é uma condição de mercado, o que é pressuposto na análise supracitada por haver transferência dos ganhos de produtividade para os preços a partir do progresso técnico (TIGRE, 2006, p. 16). Por outro lado, o progresso técnico, por vezes, se mescla ao termo “progresso tecnológico”, uma vez que se admite que, além do fato de se produzir mais com a mesma quantidade de insumos, o processo de produção, a manufatura e até as relações interpessoais são substancialmente alterados (PAIVA *et al.*, 2017).

O conceito de progresso técnico e tecnológico embasou e inspirou os estudos posteriores a respeito da inovação. Adam Smith e David Ricardo, como visto, dedicaram certa atenção ao fenômeno da inovação, buscando explicar o papel da tecnologia no desenvolvimento do capitalismo (COSTA, 2016).

No início do século XX, Schumpeter inicia suas análises do desenvolvimento econômico enfatizando e sistematizando o papel da inovação na dinâmica capitalista, além de a tratar como variável central em seus estudos. Embora até então o progresso da teoria econômica tenha sido muito significativo, Paiva *et al.* (2017, p. 162) ressaltam que ainda existiam “diversos limites que dificultavam a absorção de muitos conceitos que eram importantes para a compreensão do funcionamento do sistema capitalista”. Nesse contexto, Schumpeter analisou tais limites da teoria econômica em seu livro *Teoria do Desenvolvimento Econômico*, de 1911, destacando que, até então, não havia espaço na teoria das economias capitalistas para o papel da inovação e do empreendedor no processo de acumulação de capital. As análises estáticas e de equilíbrio que norteavam a teoria clássica levaram o autor, em alternativa, a defender o aspecto descontínuo e dinâmico que é o desenvolvimento econômico. E que este, por sua vez, é impulsionado pelo progresso técnico, ou seja, pela mudança tecnológica (MARINS, 2007).

Schumpeter estabelece os fundamentos de mudança econômica, chamadas por ele de “novas combinações”, sendo estes: a introdução de um novo bem; a aplicação de um novo método de produção; a abertura de um novo mercado; a descoberta de uma nova fonte de matéria-prima; o estabelecimento de uma nova forma de organização da indústria (SCHUMPETER, 1997, p.76). Nesse cenário, a inovação cria uma ruptura no sistema econômico, desfazendo a ideia clássica de estaticidade, e tirando a economia do estado de equilíbrio, resultando em alterações no padrão de produção e criando diferenças para as

empresas. Com isto, a partir do pensamento schumpeteriano, a tecnologia desempenha um papel fundamental no desenvolvimento comercial das empresas, visto que a capacidade inovadora traria o diferencial competitivo permitindo uma manutenção no mercado ou a conquista de novos (DOS SANTOS *et al.*, 2011).

Em sua averiguação do desenvolvimento do capitalismo, Schumpeter descreve que inovações de caráter incremental, que ocorrem em maior frequência e na forma de aperfeiçoamentos produtivos, não seriam capazes de possibilitar o movimento básico do capitalismo, que seria com ciclos de expansão seguidos de depressão da produção. A observação da existência dessa dinâmica cíclica produtiva revela que são necessárias inovações radicais, que sejam capazes de “dar um nítido relevo ao que consideramos ser a linha essencial de contorno” para que o movimento seja alterado, com rupturas e descontinuidades no processo de crescimento econômico. O desenvolvimento econômico é possível por consequência da inserção de tecnologias superiores às que estão em curso, sendo uma alteração tecnológica mais qualitativa do que quantitativa, sobrepujando o modo de crescimento produtivo anterior à revolução industrial, quando a quantidade de fatores de produção ditava o aumento da produção (COSTA, 2016, SCHUMPETER, 1997, p.78).

Nesse cenário, Schumpeter (1997) entende que a tecnologia cria e desenvolve, porém, ao mesmo tempo destrói, definição conceituada como “destruição criadora”, termo central na análise schumpeteriana da inovação. A ascensão de uma tecnologia sobrepuja tecnologias anteriores, e o avanço da economia acontece pela substituição de produtos velhos por novos e de estruturas antigas por atuais. Tal mudança se reflete na seleção das empresas que acompanham tal processo de modificação em detrimento das que não inovam, as primeiras superam as últimas e se sustentam no mercado pela competitividade, pela verdadeira concorrência existente entre empresas que tiram produtos defasados do mercado por meio da geração e inserção de novidades.

“A dinâmica capitalista promove um permanente estado de inovação, mudança, descontinuidades, substituição de produtos e criação de novos hábitos de consumo” (MARINS, 2007, p. 5), e é o empreendedor schumpeteriano o responsável pela execução da destruição criadora. Neste primeiro momento, conhecido como Schumpeter Marco 1¹, o empresário é definido como o motor da inovação. Entretanto, a partir do Marco 2 de Schumpeter, a empresa

¹ Como caracterizam Cimiterra *et al.* (2021, p. 8, tradução livre), a partir de Malerba e Orsenigo (1995, 1997), “Schumpeter Marco 1 é caracterizado pela ‘destruição criadora’, facilidade de entrada e surgimento de novas empresas baseadas em oportunidades de negócios, que desafiam os incumbentes e perturbam continuamente os modos atuais de produção, organização e distribuição. O Marco 2 de Schumpeter é caracterizado pela ‘acumulação criativa’, a relevância dos laboratórios industriais de P&D e o papel fundamental das grandes empresas”.

já passa a ser o agente da inovação. Por Martes (2010, p. 261), a partir de Schumpeter, tal empreendedor tem a característica de “inovar a ponto de criar condições para uma radical transformação de um determinado setor, ramo de atividade, território, onde o empreendedor atua [...]. A inovação não pode ocorrer sem provocar mudanças nos canais de rotina econômica [...]. O empreendedor é aquele que realiza novas combinações dos meios produtivos, capazes de propiciar desenvolvimento econômico”.

Schumpeter (1997) detalha as “novas combinações” em cinco casos, sendo estes:

“1) Introdução de um novo bem ou de uma nova qualidade de um bem. 2) Introdução de um novo método de produção, ou seja, um método que ainda não tenha sido testado pela experiência no ramo próprio da indústria de transformação, que de modo algum precisa ser baseada numa descoberta cientificamente nova, e pode consistir também em nova maneira de manejar comercialmente uma mercadoria. 3) Abertura de um novo mercado, ou seja, de um mercado em que o ramo particular da indústria de transformação do país em questão não tenha ainda entrado, quer esse mercado tenha existido antes, quer não. 4) Conquista de uma nova fonte de oferta de matérias-primas ou de bens semimanufaturados, mais uma vez independentemente do fato de que essa fonte já existia ou teve que ser criada. 5) Estabelecimento de uma nova organização de qualquer indústria, como a criação de uma posição de monopólio (por exemplo, pela trustificação) ou a fragmentação de uma posição de monopólio.

Schumpeter (1997) distingue três pilares essenciais em que o capitalismo se fundamenta, sendo eles: as inovações tecnológicas, o crédito bancário e a figura do empreendedor. As inovações tecnológicas, enfatizadas aqui, têm um processo dividido em três fases: invenção, inovação e difusão. A invenção corresponde a uma ideia ou modelo para a criação de um novo dispositivo, produto, processo ou sistema, não sendo necessariamente uma inovação, mas estando aberta para a exploração comercial. Por outro lado, a inovação, no âmbito econômico, “se concretiza quando ocorrem transações comerciais envolvendo o novo dispositivo, produto, processo ou sistema”, ou seja, se efetiva por meio da exploração comercial. A difusão, por sua vez, é a disseminação dos novos produtos e processos pelo mercado.

Como afirma Vieira (2010), a firma está sempre buscando por vantagens, ou por meio da inovação ou por meio da imitação tecnológica, e a constante busca por inovação, por parte das empresas, tem como base a incessante busca por lucros. Schumpeter, desse modo, contradiz a teoria neoclássica que considera a firma um agente passivo nas evoluções estruturais do sistema econômico e passa a definir a empresa como o sítio específico em que há a atividade inovativa, tendo um papel principal no progresso tecnológico.

Marins (2007) destaca algumas críticas no que se refere à falta de análise do processo de geração e difusão tecnológica, sendo tratada muitas vezes com uma “caixa preta”, cenário em que os neoschumpeterianos pretendem compreender a inovação “por dentro”. Apesar do autor tratar a inovação como protagonista em seus exames do progresso tecnológico, algo muito relevante para a análise da firma, até então não existe caracterização teórica estruturada e bem desenvolvida sobre como as inovações são geradas e difundidas. Com isto, a partir da década de 1970, estudos a partir das definições teóricas de Schumpeter buscaram explicar os determinantes da inovação, estabelecendo uma nova corrente teórica que denominou os economistas envolvidos como “neoschumpeterianos” ou “evolucionários”. Tais estudiosos trouxeram novas perspectivas para o estudo da firma, em que o enfoque estava em tratar a empresa de modo mais dinâmico, evidenciando sua constante busca em alavancar seus produtos e processos produtivos em um ambiente de seleção² de mercado, cenário em que as firmas têm um comportamento explicado por, de acordo com Nelson & Winter (1982), rotina, busca e seleção, com seus resultados determinados pelo tempo (VIEIRA, 2010).

Como afirma Tigre (2006, p. 73), as teorias neoschumpeterianas tem origem com Freeman (1974) resgatando “o estudo dos ciclos econômicos de Schumpeter, mostrando como a difusão de inovações está no centro dos movimentos cíclicos da economia mundial”, e com Nelson e Winter (1982), que, por outro lado, iniciam uma “linha de investigações, a partir de Schumpeter, Simon, Penrose e Marris, e em conceitos transpostos da biologia evolucionista, visando incorporar a questão tecnológica da firma” (TIGRE, 2006, p. 73). Indivíduos e organizações têm seu aprendizado definido pelo tempo, pois “aprendem” durante o processo de maturação da firma. Apesar da corrente evolucionária ter difundido tal ideia, o conceito de empresa “jovem” e “madura” já permeava o estudo da economia empresarial antes da corrente neoschumpeteriana se desenvolver.

Tigre (2006, p. 73) ressalta ainda três princípios chaves para a compreensão das teorias evolucionárias: 1) É considerado que a dinâmica da economia se baseia em inovações de produtos, processos e nas formas de organização da produção, podendo gerar instabilidade no sistema econômico a partir de inovações radicais; 2) Os evolucionários descartam o princípio da *racionalidade invariante* dos agente econômicos, conceito que define que a racionalidade substantiva predefine o comportamento dos agentes econômicos por meio do princípio da

² “Um modelo geral rigoroso do ambiente de seleção pode ser construído a partir da especificação desses quatro elementos: a definição de “valor” ou lucro que opera para as empresas do setor, a maneira pela qual as preferências e regras do consumidor influenciam o que é lucrativo e os processos de investimento e imitação envolvidos” (NELSON e WINTER, 1982, p. 266, tradução livre).

maximização. O conceito de maximização assume que os agentes econômicos têm perfeito conhecimento do mercado e, portanto, também é desconsiderado do estudo neoschumpeteriano. Os evolucionários entendem que há a necessidade de uma diversidade nas características cognitivas dos indivíduos e firmas, “a ação dos agentes se materializa ao longo do processo de negócios e, portanto, não pode ser predefinida” (TIGRE, 2006, p. 73). As empresas se capacitam, desta forma, a partir do aprendizado ao longo das interações com o mercado e novas tecnologias, resultando no estabelecimento de novas rotinas dinâmicas. A “rotina”, neste arcabouço teórico, é um termo geral utilizado para definir todo comportamento regular e previsível das empresas, desde “rotinas técnicas bem especificadas para produzir coisas, passando por procedimentos para contratação e demissão, pedido de novo estoque ou intensificação da produção de itens de alta demanda, até políticas de investimento, pesquisa e desenvolvimento (P&D)” (NELSON e WINTER, 1982, p. 14, tradução livre).

O terceiro e último princípio evolucionário define que, nessa corrente teórica, é rejeitado qualquer tipo de equilíbrio de mercado, visto que o mercado faz parte de um ambiente de “flutuações de agentes individuais com rotinas e capacitações distintas” (TIGRE, 2006, p. 74). Nesse caso, os evolucionários propõem o princípio da pluralidade de ambientes de seleção, já que acreditam que os mercados não são capazes de eliminar eficazmente empresas que não atuam sob o princípio da maximização de lucros. O conceito de “pluralidade de ambientes de seleção”, desse modo, possibilita explicar as diferentes trajetórias tecnológicas³ e a grande variedade de estruturas de mercado e de características institucionais existentes nos ambientes em que as firmas evoluem (TIGRE, 2006, p. 74).

A corrente teórica neoschumpeteriana admite que é a empresa que introduz as inovações na economia, porém não anula a contribuição do ambiente externo à firma, como por exemplo a academia, laboratórios de pesquisa e outras instituições, ressaltando também a importância do processo interno de geração de inovações a partir dos departamentos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) das firmas. Nesse contexto, os evolucionários incluíram novos conceitos nas análises da inovação, ampliando a taxonomia da distinção entre inovações radicais e incrementais analisada por Schumpeter (FREEMAN e PEREZ, 1988 *apud* COSTA, 2016).

Costa (2016, p. 292), a partir de Nelson (1991), afirma ainda que a empresa adquire conhecimento por meio de “múltiplas fontes e dependem de sua história passada, do regime

³ De acordo com Dosi (1982), as trajetórias tecnológicas são “um aglomerado de possíveis direções tecnológicas cujos limites externos são definidos pela natureza do próprio paradigma” (p. 154, tradução livre).

tecnológico dominante em seu setor, de suas interações com outros agentes econômicos e de seu domínio da técnica que utiliza em seu dia a dia”. Ademais, as diferenças entre as empresas resultam em opções tecnológicas no mercado, sendo que essa variedade é a base para que as firmas escolham as inovações mais desejáveis, sucedendo em difusão das mesmas na economia e gerando evolução de produtos e de meios de produção e organização. Tal diferença é o estopim para a variedade tecnológica que se seguirá de escolha por parte das firmas por meio dos mecanismos de seleção em sua pluralidade de ambientes.

A competitividade de uma empresa em uma atividade particular também a torna única e diferenciada, visto que tal conceito é definido como um “conjunto de competências tecnológicas diferenciadas, de ativos complementares e de rotinas” (TIGRE, 2006, p. 74). Dessa forma, para que a firma evolua, as competências⁴, geralmente tácitas e não transferíveis, precisam tomar papel central, quando antes são coadjuvantes, sempre que surgirem oportunidades tecnológicas. Quando há a existência de uma competência central na firma, existem maiores possibilidades de explicar por que elas diferem e como evoluem. Desse modo, gerando conceitos de “coerência da firma e diversas teorias de estratégias de crescimento: especialização, integração vertical, diversificação, conglomeração”, alianças estratégicas, dentre outras, que serão definidas ao passo que forem utilizadas posteriormente (TIGRE, 2006, p. 74).

De forma a viabilizar a possibilidade de teorizar sobre a dinâmica do processo inovativo, Dosi (1982) adapta o conceito de paradigma científico de Kuhn (1962) e introduz a terminologia de paradigma tecnológico, gerando também a de paradigma tecno-econômico desenvolvida por Carlota Perez. De acordo com Kupfer (1996, p. 356-357) a partir de Dosi (1984):

“um paradigma tecnológico é um pacote de procedimentos que orientam a investigação sobre um problema tecnológico, definindo o contexto, os objetivos a serem alcançados, os recursos a serem utilizados, enfim um padrão de solução de problemas técnico-econômicos selecionado [...]. Admitindo-se a existência desses paradigmas tecnológicos, a noção de trajetória tecnológica surge como um corolário: é um padrão ‘normal’ de atividades de *problem solving*, circunscrito aos limites do paradigma. ‘Normal’ aqui deve ser entendido tal como proposto na abordagem kuhniana, com o sentido ‘normativo’ — conjunto de regras que direcionam procedimentos e critérios de validação, regras estas definidas pelo paradigma vigente

⁴ O conceito de competências pode ser definido como a “capacidade de combinar, misturar e integrar recursos em produtos e serviços, reforçando a importância de articular e conhecer os próprios recursos para formar as competências essenciais e, a partir delas, formar habilidades e conseguir transmitir aos seus clientes um valor agregado, um diferencial” (BARRETO *et al.*, 2020, p. 37)

— e não no sentido estatístico — procedimentos mais frequentes, embora a trajetória também o seja, mas como consequência *ex post* de sua normatividade *ex ante*” (KUPFER, 1996, p. 356-357).

Dessa forma, um paradigma tecnológico direciona o progresso técnico, designando as técnicas e tecnologias que o mercado deve aderir e o que deve rejeitar, revertendo em redução de possibilidades de desenvolvimento tecnológico e resultando em um ambiente de seleção do desenvolvimento tecnológico. Por sua vez, o progresso técnico estabelece as trajetórias tecnológicas a serem seguidas. Tal conceito de trajetória tecnológica é a definição do “grupo de direções tecnológicas possíveis, cujos limites exteriores são definidos pela natureza do paradigma tecnológico vigente (QUANDT, 1998, DOSI *et al.*, 1988 *apud* DE OLIVEIRA 2001; KUPFER, 1996).

Nesse contexto de trajetórias tecnológicas, o conceito de Sistema Nacional de Inovações (SNI) é elaborado por Freeman e Lundvall na década de 1980 e bem sintetizado por Bingwen e Huibo (2010, p. 120-121) como uma definição que enfatiza as já mencionadas características da inovação evolucionária e considera que as firmas são entidades incorporadas aos ambientes sociais, econômicos e políticos específicos que refletem certas trajetórias históricas e culturais.

O SNI, em um sentido mais amplo, “representa as muitas interações nacionais, sejam públicas ou privadas, entre várias instituições que lidam com ciência e tecnologia, bem como com ensino superior, inovação e difusão de tecnologia” (FREEMAN E SOETE, 1997, p. 291, tradução livre). Bingwen e Huibo (2010) classificaram três subsistemas no SNI, em suas palavras:

“O primeiro é o subsistema de inovação no nível micro, incluindo empresas inovadoras, universidades, institutos de pesquisa, parques tecnológicos, recursos humanos e tecnológicos etc. O segundo é o subsistema de apoio à inovação no nível médio, que inclui as estruturas de produção, comercial, industrial, de emprego, financiamentos, infraestrutura etc. O terceiro é o subsistema do ambiente de inovação no nível macro, incluindo a população, a produção econômica, o crescimento econômico, a distribuição de renda etc.” (BINGWEN e HUIBO, 2010, p. 121).

Ademais, como desenvolve Costa (2016) a partir de Perez (1991) e Freeman (1994), o SNI não se restringe à estrutura produtiva e ao conjunto de instituições que fazem parte do sistema de ciência e tecnologia, mas também abrange diversos elementos da natureza social e institucional, como a interação produtor-consumidor, os sistemas de incentivos, as relações de trabalho, dentre outros. Desse modo, tais características configuram a base para que o SNI colabore com o desenvolvimento, difusão e a sustentabilidade das inovações tecnológicas.

1.2 O que são os ecossistemas de inovação

Estudos que envolvem benefícios mútuos advindos da interação e cooperação de empresas no mercado já existem desde os trabalhos de Alfred Marshall em 1899. Tais ensaios eram embasados nas vantagens que firmas de uma mesma indústria tinham em se agrupar em uma mesma localização física, caracterizando uma aglomeração. Na década de 1980, como mencionado na seção anterior, os tratados de Freeman e Lundvall inserem o conceito de “sistema nacional de inovação” na análise das firmas, incluindo o processo de regulação e políticas públicas como contribuição para o desenvolvimento industrial, além dos agentes de produção e financeiros. Em seguida, na década de 1990, Michael Porter aprofunda a ideia de *clusters* (aglomerados) que unia alguns dos conceitos supracitados para dissertar sobre as vantagens competitivas das nações (KON, 2016).

Desse modo, as análises a respeito do resultado benéfico das interações entre firmas chegaram aos estudos de James Moore, de 1996, que descrevia um conceito de planejamento estratégico de um ecossistema de negócios, tendo como base uma série de metáforas ambientais para explicar a competitividade e o desenvolvimento das empresas. Em 2004, Charles Wessner introduziu o conceito de ecossistemas de inovação, desenvolvendo ideias anteriores e intercalando os conhecimentos das ciências biológicas sobre ecossistemas com as teorias econômicas a respeito da inovação (KALENOV; KUKUSHKIN, 2020).

O conceito de ecossistema foi elaborado em 1935, dissertado pelo botânico inglês e ecologista Arthur Tensley como um conjunto de organismos vivos, seu *habitat* comum e as conexões que dão prosseguimento às suas vidas, como troca de matéria ou energia, e além disso, tem como objetivo funcional manter um estado de sustentação de equilíbrio. A inovação, por sua vez, é compreendida como uma atividade que transforma o conhecimento em novos ou aprimorados produtos, serviços, processos tecnológicos ou métodos de produção que serão ofertados no mercado (JACKSON, 2011).

Diferentemente do ecossistema biológico, que analisa a dinâmica energética, um ecossistema de inovação modela a dinâmica econômica, entendendo as complexas interações entre atores ou entidades que tem como objetivo funcional permitir o desenvolvimento de tecnologia e inovação. Outrossim, é possível distinguir duas economias que compõem os ecossistemas de inovação: a do conhecimento, que é impulsionada pela pesquisa, e a comercial, estimulada pelo mercado (JACKSON, 2011).

A diversidade dos atores envolvidos nas distintas economias e, por consequência, nos ecossistemas, é substancial:

“Os atores incluiriam os recursos materiais (fundos, equipamentos, instalações etc.) e o capital humano (alunos, professores, funcionários, pesquisadores da indústria, representantes da indústria etc.) que compõem as entidades institucionais participantes do ecossistema (por exemplo, universidades, faculdades de engenharia, escolas de negócios, empresas, capitalistas de risco, indústria-universidades de pesquisa, centros de excelência com apoio federal ou industrial, desenvolvimento econômico local, organizações de assistência empresarial, agências de financiamento, formuladores de políticas etc.)” (JACKSON, 2011, p.2, tradução livre).

Uma importante característica do conceito de ecossistemas de inovação é que há um aspecto sistêmico da atividade inovadora das empresas, nesse caso, havendo uma evolução conjunta entre os atores. E, mesmo que ainda não tenha uma definição que diferencie significativamente os ecossistemas de inovação dos sistemas de inovação, a maior abrangência do primeiro e suas já citadas características atraíram interesse crescente tanto da academia quanto de firmas e órgãos governamentais (KON, 2016).

O conceito de ecossistemas de inovação busca ser um apanhado de teorias de cooperação, diferindo/complementando a teoria de *clusters*, por exemplo, visto que este se refere a um aglomerado físico de negócios que aumenta a produtividade das empresas e impulsiona a inovação, fomentando novos negócios. Tal foco em definir uma localização geográfica específica diferencia os *clusters* dos ecossistemas, que não possuem limite geográfico pois mantêm uma “funcionalidade coletiva” que, em vários casos, pode ser mundial, incluindo uma infinidade de atores na criação de valor (DEDEHAYIR, 2018).

Gawer e Cusumano (2014 *apud* DEDEHAYIR, 2018, p. 19) forneceram uma análise das diferenças entre as plataformas dos ecossistemas de inovação, seccionando em “plataformas internas”, que representa “uma empresa e suas subunidades, ‘plataformas *supply-chain*’ que compreendem montadoras e fornecedores, e ‘plataformas industriais’ (semelhantes a ecossistemas de inovação) que compreendem um líder de plataforma, geralmente uma grande empresa que absorve as inovações, e seus complementadores”.

De Vasconcelos Gomes (2018) destaca quatro diferentes tipos de ecossistemas de inovação propostos por Zahra e Nambisan (2012), ligando pensamento estratégico e empreendedorismo: *Orchestra*, *Creative Bazaar*, *Jam Central* e *MOD Station*. O “*Orchestra*” é definido por “um grupo de empresas que se reúnem para explorar uma oportunidade de mercado com base em uma arquitetura/plataforma de inovação explícita definida e moldada por uma empresa dominante, ou a peça-chave” (ZAHRA E NAMBISAN, 2012, p. 222). Se compreende por “*Creative Bazaar Model*” um ecossistema de inovação no qual “uma empresa dominante compra inovação em um bazar global de novas ideias, produtos e tecnologias. Em

seguida, usa sua infraestrutura proprietária para construir essas ideias e comercializá-las” (p. 225). O “*Jam Central Model*” integra “um conjunto de entidades independentes, como centros de pesquisa, colaborando para vislumbrar e desenvolver uma inovação em um campo emergente ou radicalmente novo. O termo '*jam*' significa a natureza improvisada da inovação (ou seja, os objetivos e a direção da inovação tendem a emergir organicamente da colaboração) e a falta de liderança centralizada no ecossistema (ou seja, não há empresas dominantes e a responsabilidade da governança é difundida entre os sócios)” (p.226). E “*MOD Station Model*” se refere aos ecossistemas de inovação em que “algumas empresas permitem que seus clientes criem modificações e distribuam” (p. 227), em que “MOD” representa uma abreviação para *modification*, ou seja, em tradução livre, é um modelo de estação de modificação.

Entretanto, analisando 120 publicações a respeito dos ecossistemas de inovação, Granstrand e Holgersson (2020) elencaram uma série de padrões em busca de formular uma nova definição do conceito. Dentre todas as publicações, apenas 21 definições foram, de certa forma, exclusivas. Nesse caso, a maioria enfatiza a colaboração/complementaridade e a variedade de atores, enquanto que poucos focaram na competição e substituição de produtos/artefatos. Porém, a ênfase dos autores é que, além da colaboração entre os agentes, o conceito mais comum deveria incluir a importância de concorrentes nos ecossistemas de inovação. Esse papel secundário dado à concorrência tende a sacrificar a precisão para ganhar simplicidade, tendendo a manter uma definição excessivamente geral.

Grande parte da bibliografia inclui as interações entre atores, artefatos e instituições, assim como as relações colaborativas, complementares, competitivas e substitutas, além da natureza coevolutiva dos ecossistemas de inovação, porém, nenhuma incluiria todos os citados de maneira precisa e logicamente consistente. Dessa forma, Grandstrand e Holgersson (2020, p.3) propõem a seguinte definição de ecossistemas de inovação: “Um ecossistema de inovação é o conjunto evolutivo de atores, atividades e artefatos, e as instituições e relações, incluindo relações complementares e substitutas, que são importantes para o desempenho inovador de um ator ou uma população de atores”. Eles vinculam, com tal caracterização, os produtos, serviços, recursos tangíveis e intangíveis, recursos tecnológicos e não tecnológicos e outros tipos de entradas e saídas do sistema, incluindo inovações.

O “líder” do ecossistema e o “complementador” são conceitos que definem dois tipos de atores presentes nas interações ecossistêmicas. O líder assume uma posição central na fase de formação do ecossistema, assegurando a cooperação entre os atores que fornecerão produtos e serviços complementares na criação de valor. O líder do ecossistema tem um papel importante

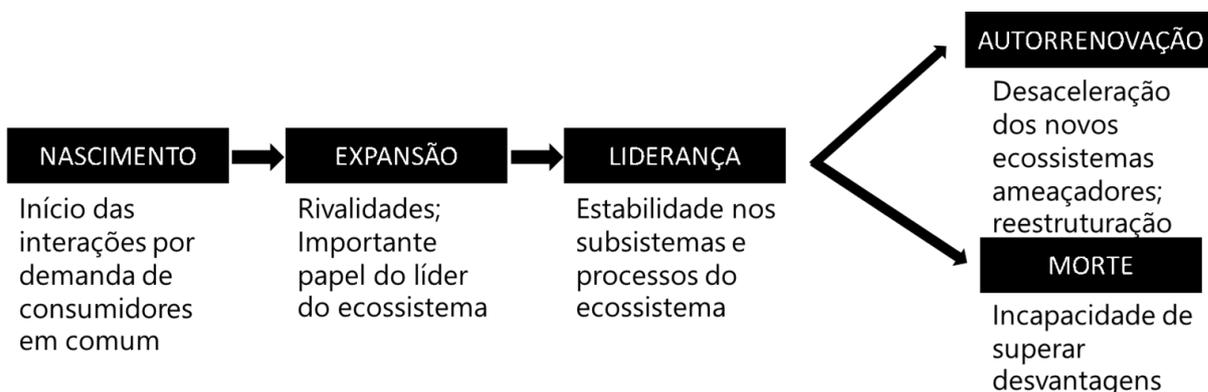
na defesa da ideia de inovação ante os concorrentes, além de estabelecer os laços necessários com os principais clientes e canais de entrega. O complementar, por sua vez, tem o importante comportamento de realizar as atividades necessárias para que o líder possa expandir os domínios de sua aplicação (MOORE, 1993 *apud* DEDEHAYIR, 2018).

Em ecossistemas sem liderança, como é o caso do *Jam Central Model*, se pode assumir que os atores são, basicamente, complementadores. Pelo caráter colaborativo, a falta de um líder explícito produz um conjunto de atores que se complementam nas funções que poderiam ser da empresa líder. A inovação, como já mencionado, surge de modo “improvisado” e sem organização, tornando o *Jam Central Model* um modelo pouco visado em estudos aprofundados. De qualquer forma, os ecossistemas de inovação tendem a seguir o modelo *hub-based* que, de acordo com Silveira *et al.* (2020) a partir de Nambisan e Baron, 2013 e Weil *et al.*, 2014, se assemelha ao *Orchestra*. O *hub-based*, que é classificado pelos autores como o modelo mais comum no mercado, conta com uma empresa líder, que cria e orchestra o ecossistema. Esta “empresa central seleciona os parceiros, define a governança e estabelece uma plataforma de inovação para o ecossistema” (p. 124), entretanto, se distingue do *Orchestra* por “garantir criação de valor sem a necessidade de um comando hierárquico” (SILVEIRA *et al.*, 2020, p. 124). Com isto, o enfoque do estudo, doravante, será em modelos com empresas líderes de ecossistemas de inovação, tendo em vista que os modelos sem liderança não têm fases e estágios definidos, ou seja, tendem ao “improvisado” baseado nas oportunidades encontradas no mercado.

Perpetuando a ideia de que todos os resultados de um ecossistema dependem de sua evolução, Moore (1993,1996 *apud* DEDEHAYIR *et al.*, 2018) organiza quatro fases em que os ecossistemas progridem: nascimento, expansão, liderança e autorrenovação ou morte. O nascimento é um processo em que todos os atores entendem os requisitos de produtos e serviços do consumidor em comum e iniciam uma colaboração, visando a suprir a oferta de modo produtivo e eficaz. Na fase de expansão, o ecossistema começa a abranger vários territórios de aplicação, podendo encontrar rivalidades. Nesse estágio é necessária a capacidade do líder do ecossistema em manter fortes interações com os diversos atores, clientes, fornecedores e complementadores, já que é preciso haver uma demanda de mercado dentro do limite de capacidade de oferta do ecossistema. Na terceira fase do desenvolvimento do ecossistema, há um fortalecimento das cooperações dentre os atores. É um estágio determinado pela estabilidade nos subsistemas e processos do ecossistema, que depende de uma visão de desenvolvimento futuro por parte da liderança, levando ao maior comprometimento dos

fornecedores de componentes e produtores de complementos, além da preferência do consumidor, que resulta em uma verdadeira rede de interação entre colaboradores. Na quarta e última fase, o ecossistema já é maduro o suficiente para conter ameaças de novos ecossistemas e inovações. Nesse caso, há a possibilidade de novos ecossistemas surgirem por meio de regulações e incentivos governamentais e/ou características demográficas privilegiadas, o ecossistema maduro tem duas possíveis reações a estes: a autorrenovação ou a morte. Na primeira reação, os líderes do ecossistema têm papel fundamental na desaceleração dos novos ecossistemas ameaçadores, além de poderem gerar inovações e reestruturarem seus próprios ecossistemas, caso contrário, o ecossistema morre (DEDEHAIR *et al.*, 2018). A partir de Moore (1993), a Figura 1 sintetiza o ciclo de vida supracitado:

Figura 1: Diagrama do ciclo de vida dos Ecossistemas Empresariais e de Inovação de Moore.



Fonte: Elaboração própria com base em Moore (1993)

De Vasconcelos Gomes (2018), a partir de Adner e Kapoor (2010), Priem *et al.* (2013), e Ritala *et al.* (2013), destaca que os ecossistemas de inovação trouxeram uma nova peça principal na análise da cadeia de valor das empresas, dando um enfoque maior na criação de valor, quando antes, em muitos estudos sobre estratégia, redes e economia, o foco era na captura de valor. Ritala *et al.* (2013, p. 248) desenvolve que, no contexto de um ecossistema de inovação, “a criação de valor refere-se aos processos e atividades colaborativas de criação de valor para clientes e outras partes interessadas”. Para Martins (2013, p. 29), a partir de Brandenburger e Stuart Jr. (1996), “o valor total criado pela firma é a diferença entre a disposição a pagar dos clientes e o custo de oportunidade do fornecedor”. Com isto, são gerados excedentes tanto para o consumidor quanto para o fornecedor que, por sua vez, é o valor gerado na interação firma-consumidor.

Por outro lado, a captura de valor “refere-se à obtenção de lucro efetivada em nível de empresa individual; isto é, como as empresas eventualmente buscam alcançar suas próprias vantagens competitivas e colher os lucros relacionados” (RITALA *et al.*, 2013, p. 248). Com os estudos de ecossistemas de negócios salientando a captura de valor, os estudos de inovação, além de incorporar a análise da competição envolta na dinâmica econômica, também insere um exame da tecnologia envolvida. Adner e Kapoor (2010, p. 328) ressaltam a “importância de compreender a dinâmica de criação de valor como precursora da análise de captura de valor”.

Nesse cenário, Oh *et al.* (2016) trazem uma perspectiva crítica da evolução e foco dos ecossistemas de inovação. Para os autores, os ecossistemas não são entidades evoluídas, sendo, na verdade, projetados, com diferenças claras entre os ecossistemas de inovação e os naturais: (i) há presença de intenção e teleologia, e (ii) nos modelos tradicionais é reconhecido o papel da governança, do líder absoluto do ecossistema de inovação específico. A mesma classificação não é, geralmente, observada nos ecossistemas sem líderes, visto que, pela natureza osmótica das relações existentes nestes modelos, talvez sejam os que mais se assemelham aos ecossistemas naturais, apesar da intenção em inovar.

De toda forma, não é possível ser totalmente preciso quando o conceito envolve analogias com outras teorias, havendo margem para faltas e complementos. Ademais, Oh *et al.* (2016) agregam à análise de Moore a respeito da última fase de desenvolvimento dos ecossistemas, evidenciando que, se não reestruturado, o ecossistema maduro pode morrer. Para que um ecossistema de inovação possa se manter consolidado, dinheiro e inteligência não são suficientes para estabelecer uma região na vanguarda da inovação. São necessárias amplas estruturas de suporte, com sistemas de inovação bem conectados e uma estrutura de custos favoráveis. O que pode levar à morte um ecossistema consolidado é a entrada de competidores que se alavancarão a partir da captura de novos benefícios elencando uma nova vanguarda da inovação. Por isso, a liderança do ecossistema maduro, se não autorrenovar, tende a perder espaço para inovações disruptivas aceitas em regiões e sistemas com melhores estruturas.

O início de um ecossistema de inovação pode ser complexo para setores e empresas com maior aversão a risco. Como menciona Dedehayir *et al.* (2018), a fase de nascimento de um ecossistema de inovação se alinha, até certo ponto, com o início da inovação de produto, já que abrange desde a oportunidade de produto até o início do desenvolvimento de novos produtos (DNP). Nessa fase inicial, entretanto, existem vários aspectos que devem ter atenção, como o próprio conceito do produto, o investimento, o processo de produção e a distribuição e

marketing para diferentes segmentos de consumidores, dentre outros, o que caracteriza uma fase com resultados incertos e, por vezes, alto nível de investimento e risco agregado.

O processo de inovação, portanto, necessita de vários atores com distintos papéis e atividades que vão além da estrutura organizacional. O desenvolvimento de produto é significativamente volátil, e quando não existem papéis, processos e recursos formais, o potencial de comercialização de uma inovação pode desaparecer. Nesse cenário, Markham *et al.* (2010 *apud* DEDEHAYIR *et al.*, 2018) examinam três atores do processo de inovação: “(i) campeões; (ii) patrocinadores; e (iii) porteiros” [tradução livre].

Para catalisar esse processo, os campeões acabam se engajando no marketing interno, preparando a ideia para aceitação por outros na organização. É importante ressaltar que eles exigem a assistência do patrocinador para fornecer suporte (por exemplo, suporte da alta administração, recursos técnicos e recursos financeiros) para o projeto iniciado que ainda não recebeu aceitação formal. Juntos, o campeão e o patrocinador visam trazer a ideia para o processo de DNP, para o qual devem adquirir a aceitação do porteiro, “que estabelece critérios de decisão e fornece acesso a recursos para projetos que atendam a esses critérios” (Markham *et al.*, 2010, p. 407 *apud* DEDEHAYIR *et al.*, 2018, p. 20, tradução livre).

Tendo como base a intersecção entre os campeões, patrocinadores e porteiros, é importante entender tais interações por meio de teorias mais aplicadas, buscando compreender o papel de cada ator e como é a relação de contribuição. Com isto, o Modelo da Hélice Tripla se mostrou um conceito muito relevante para entender interações entre três economias, a do conhecimento, a empresarial e a governamental, o que será pormenorizado na próxima subseção.

1.2.1 O Modelo da Hélice Tripla

No final do século XIX e início do século XX, principalmente, a caracterização das interações industriais era realizada basicamente entre duplas de agentes (indústria-universidade, universidade-governo, governo-indústria etc.), o que não resultava em análises eficientes dos amplos arranjos industriais vigentes. Portanto, houve uma evolução conceitual que, em conjunto com os estudos de ecossistemas de inovação, permitiu análises e estudos eficientes das interações do modelo e seus resultados, trata-se do modelo da Hélice Tripla (ROVERE *et al.*, 2021).

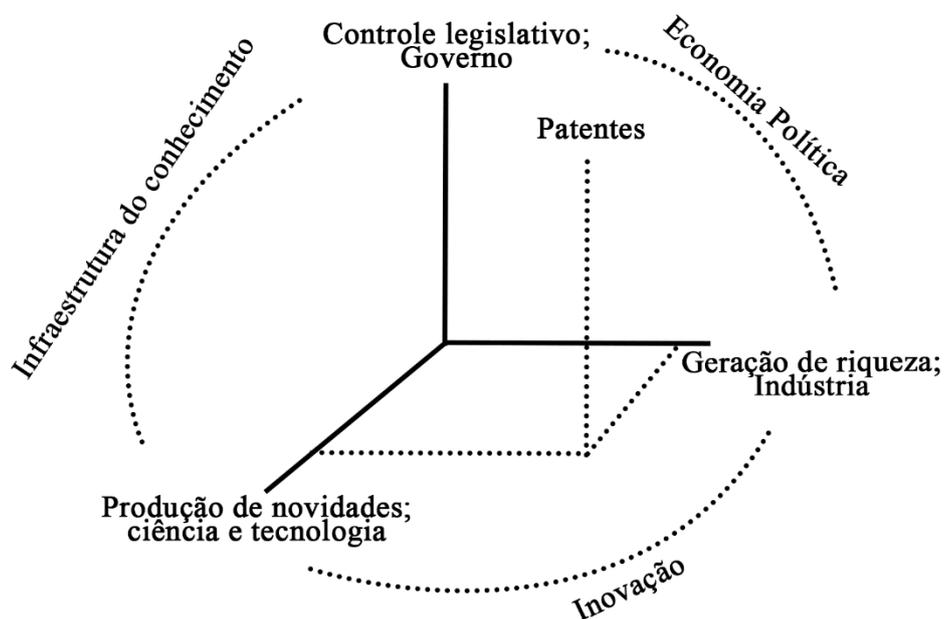
O modelo da Hélice Tripla em conjunto com os estudos de ecossistemas de inovação oferece “uma metodologia para examinar pontos fortes e fracos e preencher lacunas nas relações entre universidades, indústrias e governos” (ETZKOWITZ & ZHOU, 2017, p. 1). A clássica interação entre governo e indústria observada desde o século XVIII não contemplava

a importância das universidades na inovação e no desenvolvimento de novas indústrias e empresas. Desse modo, ambos os modelos citados buscam entender as estratégias de inovação bem sucedidas e aprimorar as interações universidade-indústria-governo. A Hélice Tripla é definida como um modelo em que a interação universidade-indústria-governo promove o desenvolvimento da inovação, além disso, nesse processo, são formadas organizações híbridas, caracterizadas como instituições secundárias que são geradas conforme a demanda, mas com atuação ativa nos ecossistemas de inovação (ETZKOWITZ & ZHOU, 2017).

Um importante conceito advindo dos evolucionários é o de “economia baseada em conhecimento”, que apesar de um termo autoexplicativo, guarda ressalvas quanto à dificuldade em se mensurar o desenvolvimento de uma economia baseada em conhecimento. De fato, como indica Godin (2006b, p. 24 *apud* LEYDESDORFF, 2012), existem importantes dificuldades metodológicas quando se busca medir ativos intangíveis como o conhecimento. Tal conceito, todavia, se alinha bem com o modelo da Hélice Tripla, que tanto reafirma a importância das redes de transmissão de conhecimento da academia.

Leydesdorff (2012) formula que os atores principais do arranjo da Hélice Tripla são portadores institucionais de um sistema de inovação e se dividem em dois níveis: “uma camada de relações institucionais na qual eles restringem o comportamento uns dos outros e outra camada de relações funcionais na qual eles moldam as expectativas uns dos outros” (p. 3, tradução livre). Como exemplo de uma interação do modelo Hélice Tripla em uma economia baseada em conhecimento, abreviada na Figura 2, Leydesdorff (2012) descreve três subdinâmicas que geram patentes em um ecossistema de inovação: (i) geração de riqueza na economia, (ii) criação de novidades pela ciência e tecnologia organizadas e (iii) governança das interações entre essas duas subdinâmicas pela formulação de políticas na esfera pública e gestão na esfera privada.

Figura 2: Patentes como eventos no espaço tridimensional das interações da Tríplice Hélice



Fonte: Adaptado de Leydesdorff (tradução livre, 2012)

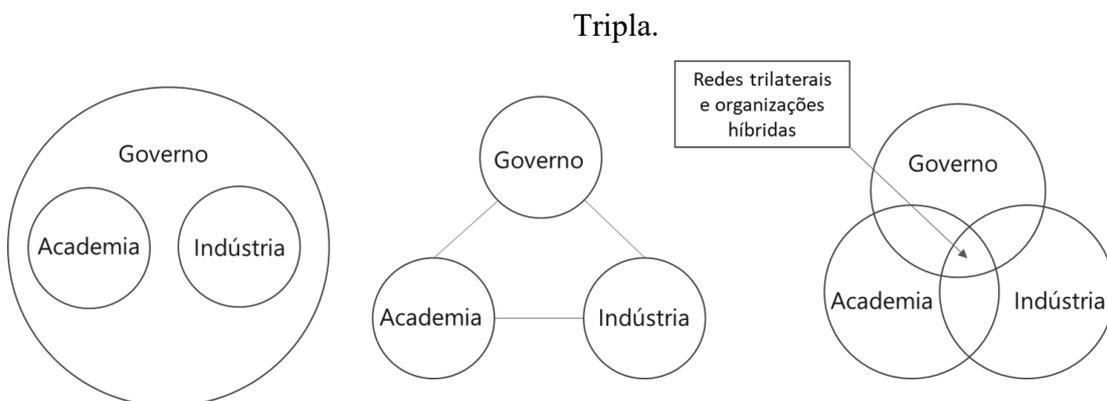
Apesar de considerados autônomos da sociedade que operam, os sistemas econômico, político e acadêmico têm sua interdependência e interação no que diz respeito à criação de inovações e conhecimento (LEYDESDORFF, 2012). No contexto da economia baseada em conhecimento, uma corrente teórica que discute a relação universidade-empresa, e está ancorada nas teorias evolucionárias da inovação, é alinhado o fundamental processo inovativo que ocorre no ambiente da empresa com as relações que esta estabelece com seu entorno para determinar a competitividade dos países. A universidade, nesse contexto, “deve ser considerada como um agente privilegiado desse entorno para a promoção da competitividade das empresas e da nação” (DAGNINO, 2003 p. 271), mesmo que não se considerando a universidade e a pesquisa básica realizada pela academia como primeiro elo desencadeador de uma hipotética “cadeia linear de inovação”⁵ (DAGNINO, 2003).

Etzkowitz e Leydesdorff (2000) apontam a evolução da organização da Hélice Tripla de acordo com a mudança das interações universidade-indústria-governo observadas nas representações geométricas do conceito. A mudança verificada na organização das interações entre os atores tende a alterar o padrão tradicional de fluxo linear de conhecimento para um livre fluxo de cooperações multilaterais, com o conhecimento sendo transmitido da

⁵ De acordo com Moraes *et al.* (2019, p. 3), o Modelo Linear “considera a inovação como um processo linear simples, no qual os avanços científicos e tecnológicos empurram um produto novo ao mercado. Essa teoria concentra-se em descobertas científicas”.

universidade para a indústria, da indústria para a universidade, da indústria para o governo, entre outras possíveis combinações.

Figura 3: Representações geométricas da organização das interações no modelo da Hélice



Fonte: Adaptado de Etzkowitz e Leydesdorff (2000)

Na primeira representação da Figura 3, o governo tem papel central no processo, englobando as universidades e a indústria e coordenando suas interações. “A inovação tem um caráter normativo, fruto das diretrizes e autoridades do governo e não da dinâmica e relação entre as universidades e a indústria” (DA CUNHA e NEVES, 2008, p. 101). Na segunda representação, o governo passa a ter uma diferente atuação, deixando o papel de condutor para os demais agentes, “isto não significa a redução das inovações, mas um novo arranjo institucional onde o governo possui outra dinâmica” (p. 101), além disso, os atores estão ligados por uma pequena interação, cada um com seu papel bem definido, recorrendo um ao outro apenas quando necessário. A terceira representação da Hélice Tripla, na Figura 3, busca sobrepor as entidades do modelo de modo a demonstrar a forte interação existente que, por vezes, pode resultar em um agente atuando na área de especialidade do outro, como por exemplo, quando as universidades registram patentes ou as empresas realizam treinamentos e pesquisas em seus departamentos de P&D. Essa representação geométrica retoma as já citadas organizações híbridas, que assumem todas as funções relativas à inovação e tendem a consolidar a ligação entre os atores principais (DA CUNHA e NEVES, 2008).

Válido ressaltar que a organização e “hierarquia” das interações estão em constante mudança, sempre dependendo do modelo econômico vigente e dos resultados obtidos, cenário em que as representações geométricas analisadas podem se tornar obsoletas.

1.2.2 Inovação aberta

Os modelos de inovação, descritos por Chesbrough (2003 *apud* MELLO e SEPÚLVEDA, 2017), têm uma complementaridade com as análises a respeito dos ecossistemas de inovação e da Hélice Tripla. O autor cria a expressão *Open Innovation* — ou inovação aberta, em português — e a diferencia de inovação fechada, revelando possíveis modelos que podem ser adotados pelas firmas.

A inovação fechada é descrita pelo processo de internalizar os processos de inovação em uma única empresa, sem envolver quaisquer atores externos. Tal modelo tende a ser empregado por empresas de grande porte, que possuem meios de investir grandes quantias em P&D, mas é pouco utilizado por indústrias com maior aversão ao risco, nos quais os processos de inovação geralmente são mais lentos por característica (MELLO e SEPÚLVEDA, 2017). Por outro lado, a inovação aberta está sujeita às interações, parcerias, transferências ou licenciamento de processos de inovação entre vários atores para que ocorra inovação. Desse modo, o modelo admite que todos os meios, internos e externos, são e devem ser utilizados por diferentes atores para que novas tecnologias sejam desenvolvidas. Nesse modelo, portanto, a inovação aberta possibilitaria um investimento pulverizado e oportunidades para todas as dimensões de organizações contribuírem, criarem e adotarem as inovações decorrentes de tal processo (MELLO e SEPÚLVEDA, 2017).

A inovação aberta, de acordo com Chesbrough (2003 *apud* STAL *et al.*, 2014), vem como um aparato para que empresas com orçamento, competências e possibilidades insuficientes possam tornar os limites das organizações mais permeáveis e flexíveis, adaptação necessária para que as empresas possam dar respostas, tecnológicas e de produtos, rápidas ao mercado em uma economia baseada em conhecimento. Dahlander e Gann (2010 *apud* STAL *et al.* 2014, p. 298) definem o “grau de abertura (*openness*) e sua influência sobre a capacidade de inovação e apropriação dos benefícios resultantes pelas empresas”. Avaliando uma extensa literatura, os autores chegaram a uma classificação que envolve “dois processos de fora para dentro – busca e aquisição – e dois processos de dentro para fora das empresas – revelação e venda”.

Para que ocorra inovação aberta nas firmas, estas devem se manter atentas às oportunidades externas. A economia baseada em conhecimento permite que as principais oportunidades estejam em ideias e projetos que, em sua maioria, são de posse de pessoas. Indivíduos passam por diferentes firmas e levam seu conhecimento com eles, desse modo, é necessário que todas as possibilidades possam ser aproveitadas, expandindo os limites das

firmas para o que o conhecimento externo possa agregar à geração de valor por meio de inovações. Dessa forma, “a diversidade de ideias e as trocas entre os agentes – empresas, universidades, governo, centros de pesquisa etc. – permite gerir fontes externas já existentes para renovar a organização de forma muito mais acessível e dinâmica” (SILVA e DACORSO, 2013, p. 253).

1.2.3 Diversidade de fontes de inovação

Chaminade e Lundvall (2019) desenvolvem uma taxonomia de aprendizagem, evidenciando que a inovação não se desenvolve apenas com ciência, mas também em aprendizados no processo produtivo. Os autores elencam quatro tipos de aprendizado (p. 6):

1. *Learning by scientific discovery* (aprendizado por descoberta científica)
2. *Learning by doing* (aprendendo fazendo)
3. *Learning by using* (aprendendo usando)
4. *Learning by interacting* (aprender interagindo)

Sem diminuir a importância da ciência, que permite a criação de novos produtos e processos tanto em áreas de “baixa” quanto de “alta” tecnologia, “o desenvolvimento, a difusão e o uso bem-sucedidos de inovações dependem do conhecimento tácito e do aprender fazendo, aprendendo usando e aprendendo interagindo” (CHAMINADE e LUNDVALL, 2019, p. 6).

O termo *learning by doing* define um crescimento de produtividade contínuo ao longo do tempo à medida que uma firma ganha experiência ao terminar uma nova versão de um determinado produto. *Learning by using* é um conceito utilizado para descrever a diminuição dos custos ao longo do tempo, em termos de operação e manutenção, à medida que um usuário que adquire um novo produto se torna mais proficiente no domínio desta nova tecnologia.

Lundvall (1985, p. 27) desenvolve o conceito de *learning by interacting* a partir do suposto que “diferentes organizações e indivíduos com distintos elementos de conhecimento interagem no processo de inovação. A aprendizagem interativa ocorre dentro das organizações, bem como entre as organizações”, sendo um processo muito importante para o desenvolvimento inovativo. As análises do autor consideravam que um produtor de novas tecnologias depende das opiniões dos consumidores e, na mesma medida, os consumidores dependem do amparo desses produtores ao colocarem novos produtos no mercado (CHAMINADE e LUNDVALL, 2019). As análises de aprendizado por interação vão além da relação produtor-consumidor, abrangendo as interações entre fornecedores, instituições de P&D, instituições governamentais, dentre outros. Lundvall e Rikap (2022, p. 1) descrevem que a inovação é um processo interativo, “as empresas não inovam sozinhas, e o desempenho da inovação de uma economia nacional

reflete a qualidade das relações entre as empresas, bem como sua interação com a infraestrutura tecnológica doméstica”.

Com uma contextualização histórica, o presente capítulo buscou introduzir os mais relevantes estudos para a compreensão do denso conceito de inovação e, com mais atenção, o de ecossistemas de inovação e as diversas teorias que os rodeiam. O próximo capítulo, por sua vez, empreende um exame do setor e da empresa que é tema do estudo de caso em questão, evidenciando uma revisão aplicada como forma de introdução às avaliações posteriores.

2. OS ARRANJOS INOVATIVOS NA INDÚSTRIA MINERAL

2.1 Uma síntese da mineração

A mineração, de forma sucinta, compreende a atividade de extração de minerais preciosos e outros materiais geológicos que são, posteriormente, transformados em uma forma mineralizada com valor agregado superior, tendo diversas utilidades para o sistema econômico (CFI, 2022). Nas palavras de Mesquita *et al.* (2016):

“Entende-se por mineração a extração e o beneficiamento de minerais que se encontram em estado natural, incluindo a exploração das minas subterrâneas e de superfície e todas as atividades complementares para preparar e beneficiar minérios em geral, na condição de torná-los comercializáveis, sem provocar alteração, em caráter irreversível, em sua condição primária” (MESQUITA *et al.*, 2016).

A cadeia de valor da mineração é, por Sachs (2009) de acordo com Porter e Millar (1985), composta pelas seguintes atividades: Preparação; Lavra – que necessita de modelagem geológica, plano de lavra e programa de lavra; Beneficiamento; Vendas e Logística.

Focalizando o processo produtivo, destacam-se a lavra e o beneficiamento. A lavra é a efetiva produção da mina, é o processo de extração de minério que é executado por operações de escavação, corte, carregamento e transporte do minério até as instalações de beneficiamento. O beneficiamento consiste, por sua vez, nas várias atividades de transformação do minério lavrado, tendo como princípio a redução de tamanho, por meio da britagem, peneiramento, moagem, classificação granulométrica *etc.* Outro processo essencial durante o beneficiamento é a atividade de concentração da matéria-prima, composta por deslamagem, flotação, métodos gravimétricos, separação magnética, lixiviação *etc.*, quando são eliminadas impurezas buscando aumentar o teor dos minerais úteis. Por fim, também faz parte do beneficiamento a separação sólido-líquido, quando o produto é espessado e filtrado para possibilitar o manuseio e estocagem dos produtos finais (SACHS, 2009).

Para classificar as Rochas e Minerais Industriais (RMIs), Luz e Lins (2008) destacam que é importante separá-los de acordo com seu uso final, subdividindo-as entre metálicos, RMIs, energéticos, gemas e águas. Dessa forma, os minerais metálicos abrangem os metais ferrosos, não ferrosos, preciosos e raros. As RMIs são divididas entre estruturais ou para construção civil, os que são de utilização química, cerâmicos, refratários, isolantes, fundentes, abrasivos, minerais de carga, pigmentos, agrominerais e minerais ambientais. As gemas definem o que se conhece por pedras preciosas; as águas são divididas entre minerais e

subterrâneas e, por fim, os minerais energéticos que abrangem os metais radioativos e os combustíveis fósseis (LUZ e LINS, 2008).

Vale ressaltar que, apesar da presente pesquisa ter um enfoque na indústria que extrai e produz – em maior prevalência – os minerais metálicos, principalmente o minério de ferro, a indústria mineral abarca muitos tipos de diferentes minerais. Com uma ampla gama de mercadorias, o setor mineral tem uma fundamental importância para a economia mundial, mantendo grandes indústrias como dependentes dessas *commodities* minerais do subsolo (GARSIDE, 2022).

As peculiaridades da indústria mineral proporcionam impactos de variadas amplitudes nas condições de mercado e na competitividade da atividade mineral. Os bens minerais acarretam importantes impactos por sua característica não-renovável, mantendo a instalação, produção e desenvolvimento das indústrias do setor dependentes da localização que, por sua vez, é particular do ambiente geológico. A rigidez locacional das jazidas minerais interfere diretamente no seu aproveitamento econômico, como dimensão e qualidade das reservas, sendo uma característica que demanda investimentos em pesquisas tecnológicas para viabilizar o início da extração e a continuidade e adequação da lavra e beneficiamento, tendo em vista as condicionantes espaciais e qualitativas das minerações. Com isto, duas das importantes consequências dessa natureza rígida da mineração é a formação de barreiras à entrada e limitações no uso de tecnologias disruptivas (WRIGHT, 2002).

Na Cartilha da Indústria de Mineração – 2022, do *Corporate Finance Institute* (CFI), são elencadas as duas principais categorias que compõem os ativos da indústria de mineração: os projetos e as minas operacionais. A fase inicial que resulta em uma mina operacional é composta por projetos que se subdividem em fase de exploração e viabilidade e etapa de planejamento e construção. Na exploração e viabilidade, o objetivo é “encontrar minérios que sejam economicamente viáveis para lavar. Começa com a localização de anomalias minerais, após o que a descoberta e a amostragem confirmam ou negam a existência de um achado. Pode ser comprovado através de programas de perfuração e definição de recursos.” (CFI, 2022, p. 1). Nas etapas de planejamento e construção, a primeira fase deve ter revelado uma mina potencial viável, a partir do qual se iniciará a “obtenção de licenças, estudos econômicos contínuos e planos de refinamento da mina” (p. 1), sendo uma fase em que se torna necessário montar uma infraestrutura significativamente complexa, pois as minas geralmente se encontram em regiões mais remotas (CFI, 2022).

Após os processos iniciais de viabilidade e estruturação a mina pode se tornar operacional, fase em que o ativo pode iniciar a extração, processamento e refinaria da matéria-prima para produção do metal. “Esta seção forma a maior parte do foco do modelo financeiro para uma mina em operação. Após a extração de todo o minério, inicia-se o processo de fechamento da mina, que pode durar vários anos. O processo inclui limpeza, recuperação e monitoramento ambiental” (CFI, 2022, p. 1).

A etapa de implementação (ou teste de viabilidade) de um empreendimento mineral pode durar dez anos ou mais (SACHS, 2009). Os altos risco e custo determinam a necessidade de que ocorram várias etapas de estudos de viabilidade, podendo incluir:

“Pesquisa mineral; Exploração e modelagem geológica do corpo mineral; Quantificação das reservas minerais; Estimativa da demanda do mercado e preço do produto mineral; Definição do plano de lavra (método, escala de produção e vida útil esperada da mina); Definição dos processos de beneficiamento do minério; Definição dos custos de capital para equipamentos, instalações e infraestrutura; Definição dos custos operacionais dos processos de lavra e beneficiamento escolhidos; Retorno sobre o investimento” (SACHS, 2009, p. 95).

No que tange ao potencial de desenvolvimento do setor, é cabível ressaltar os desafios que emergem com uma economia mundial que expande um enfoque na agenda de promoção de maior sustentabilidade socioambiental. Não menos importante para a indústria mineral, o “desenvolvimento de um conjunto de novas tecnologias capazes de transformar as atividades de mineração e desenvolvimento e produção de metais” (MESQUITA *et al.*, 2016, p. 326) é outro desafio crescente no setor. Apesar da importância da mineração, sua produção está ligada aos grandes impactos ambientais, que se deparam com o primeiro desafio mencionado, visto que são enormes operações com uma grande quantidade de carga movimentada e uma geração de rejeitos que representam diversos riscos à sociedade (MESQUITA *et al.*, 2016).

Luz e Lins (2008) destacam que os “minerais metálicos fundamentaram o desenvolvimento industrial do século XIX, que se prolongou pelo século seguinte. Os recursos energéticos foram grandes protagonistas do século XX e ainda são nesse novo século [XXI]” (p. 5), sendo grandes insumos da segunda revolução industrial que acarretou uma demanda por produtos disruptivos. Porém, a base da indústria mineral (extração) concentra produtos com baixa intensidade inovativa, por serem matérias-primas, e há uma maturidade nos processos de produção que arraigam certas tecnologias por longos períodos de tempo. Nesse caso, as principais inovações do setor são absorvidas para produzir mais bens minerais, gerar menos rejeitos ou reutilizá-los, consumir menos energia e diminuir eventuais desperdícios (GOMES, 2017).

A magnitude produtiva do setor mineral é bem detalhada no relatório anual *World Mining Data*, do *Austrian Federal Ministry of Finance (Bundesministerium für Finanzen – BMF)*, que registrou uma produção mineral global de 17,2 bilhões de toneladas métricas em 2020 – vale ressaltar que o total elencado pela instituição abarca todas as RMIs citadas anteriormente. Com uma grande magnitude dessa produção, o minério de ferro tinha uma participação de 97,3% entre todos os metais de ligas de ferro, desempenhando um crescimento produtivo de 151,3% entre 2000 e 2020. Nesse cenário, apenas as quatro maiores nações mineiras, respectivamente, China, Estados Unidos, Rússia e Austrália, detêm um *market-share* conjunto de 53,9% da produção mundial (BMF, 2022).

Garside (2022), por meio das estatísticas do portal Statista, destaca que “a receita das 40 maiores empresas globais de mineração, que representam a grande maioria de toda a indústria, totalizou cerca de 656 bilhões de dólares em 2020” (p. 1), sendo que as *commodities* mais exploradas do mundo, neste setor, em termos de volume, são minério de ferro, carvão, potássio e cobre (GARSIDE, 2022).

No contexto brasileiro, desde sua colonização, a mineração é uma atividade produtiva importante, equilibrando os índices de crescimento da nação, interiorizando a população e “levando o investimento e o desenvolvimento nos mais distantes rincões do país” (MENDONÇA, 2021). Ao longo da história da mineração, os principais expoentes da atividade do setor foram o aumento da ocupação territorial e do conhecimento geológico. Com esses fatores em ascensão, novos depósitos de minerais metálicos foram descobertos, o manganês e o ferro, dentre outros, passaram a ter maior importância e valor comercial. Tais descobertas tiveram impacto relevante na economia nacional e foram fundamentais para fomentar o processo de industrialização brasileiro (ANM, 2019).

A atratividade da matéria-prima é uma importante fonte de retorno financeiro, permitindo consideráveis investimentos estrangeiros na industrialização do setor mineral e movimentando diversos setores essenciais. “A mineração é responsável por quase 5% do PIB nacional e oferece produtos para variados tipos de indústria como siderúrgicas, fertilizantes, petroquímicas e metalúrgicas, além de insumos diretamente ao agronegócio” (MENDONÇA, 2021).

O balanço apresentado pelo Instituto Brasileiro de Mineração elenca a grande importância da mineração para a economia brasileira, registrando uma produção mineral de 200 milhões de toneladas no primeiro trimestre de 2022 (1T22). Nesse cenário, com um faturamento de R\$ 56,2 bilhões, o setor é concentrado nos estados do Pará e Minas Gerais, contendo uma

parcela conjunta de 77% do faturamento brasileiro no 1T22. Nesse mesmo período, o minério de ferro liderava disparadamente o *ranking* de faturamento por substância, com R\$ 49,1 bilhões – 58% do faturamento, enquanto que o minério de ouro, em segundo lugar, detinha um faturamento trimestral de R\$ 7,5 bilhões – 11% do faturamento (IBRAM, 2022).

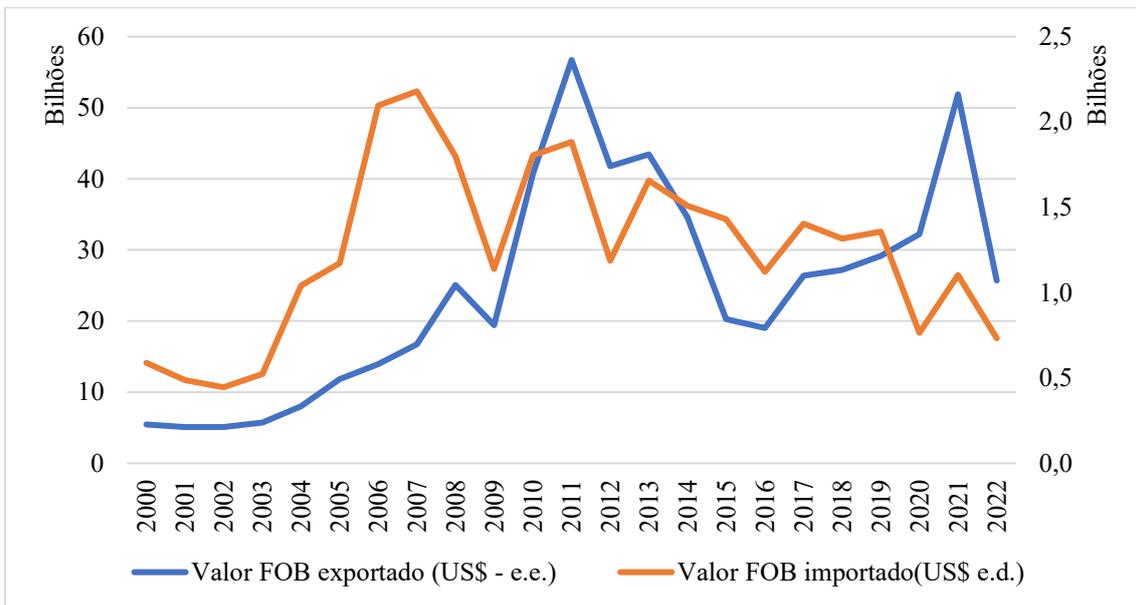
De modo a demonstrar a relevância para a balança comercial brasileira, as mineradoras registraram um valor exportado de US\$ 9,4 bilhões no 1T22, correspondendo a 13% das exportações brasileiras no período. A participação do minério de ferro no saldo dessas exportações equivale a 68%, sendo que os quatro principais destinos foram, respectivamente, China (63,18%), Malásia (6,04%), Barein (4,33%) e Japão (3,89%). Toda essa movimentação financeira gera dezenas de bilhões de reais em tributos ao governo, chegando aos R\$ 19,4 bilhões no 1T22 (IBRAM, 2022).

É possível observar, no Gráfico 1, que a relevância dos minérios e seus associados na balança comercial brasileira teve trajetória crescente desde 2000, acompanhando o ritmo de crescimento do PIB chinês, maior importador das *commodities* minerais do Brasil. Mesmo com o baque da crise financeira internacional de 2008, o impacto foi sentido apenas no ano seguinte, com uma rápida recuperação de valor exportado em 2010 e com uma crescente exponencial até 2011, quando atingiu mais de US\$ 56 bilhões em exportação de minério, contra menos de US\$ 1,8 bilhão em importações.

Em 2012 se inicia uma “depressão” no valor das exportações de minério, de acordo com a ministra interina do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (MDIC) em 2012, Tatiana Prazeres:

“A queda de 5,3% nas exportações brasileiras em 2012 se deve essencialmente a três fatores: quedas nos preços internacionais, retração do mercado europeu e aumento das barreiras comerciais em outros mercados. Ela explica que se o preço do minério de ferro tivesse permanecido no mesmo patamar de 2011, as exportações teriam sido 10,3 bilhões de dólares maiores, o que faria com que a queda no ano fosse de apenas 1,2%” (VEJA, 2012, p. 1).

Gráfico 1: Balança comercial brasileira - Minérios, escórias e cinzas (2000 a 2022 - US\$ FOB*)

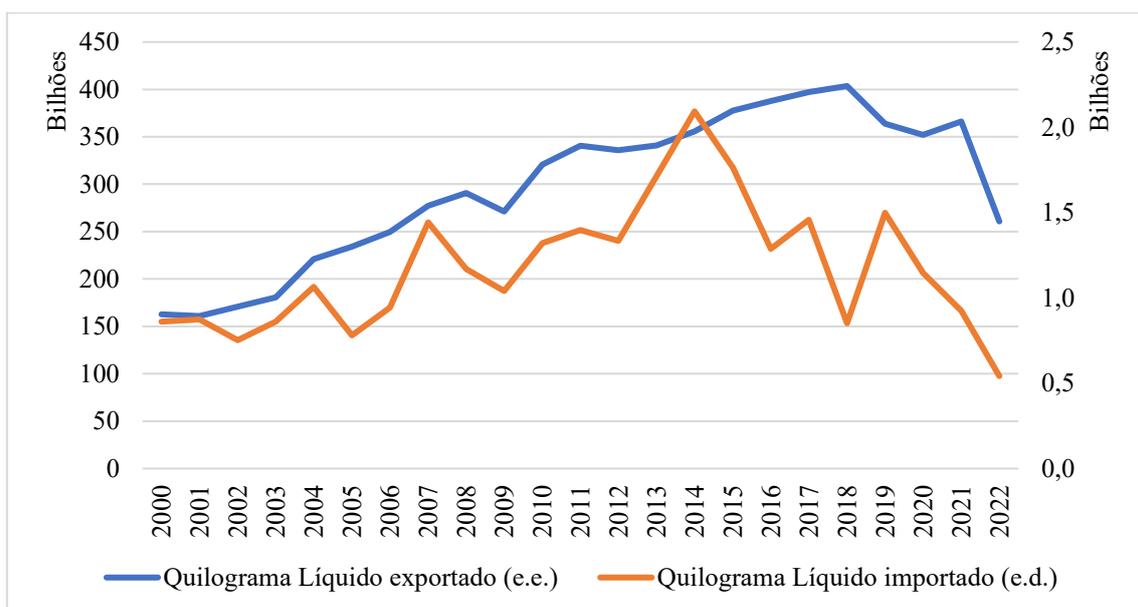


Fonte: Elaboração própria com base em Comex Stat (2022)

*Deflacionado a dólares de 2000 pelo Consumer Price Index (CPI) dos Estados Unidos.

Em 2016, o valor exportado atinge um mínimo em sete anos, porém, como é possível observar no gráfico 2, a quantidade exportada alcançava o máximo de todo período analisado.

Gráfico 2: Balança comercial brasileira - Minérios, escórias e cinzas (2000 a 2022 – quilograma líquido)



Fonte: Elaboração própria com base em Comex Stat (2022)

Como explica Leonardo Goy (2017), da Reuters na revista Exame, “a receita com os embarques de minério de ferro e seus concentrados, um dos principais produtos da pauta de exportação do Brasil, caiu 6 por cento, para US\$ 13,289 bilhões, devido a preços mais baixos dos produtos ao longo do ano”. Desse modo, o preço das *commodities* minerais desencadeou um grande impacto para o superávit da balança comercial mineral, com recordes em quilogramas líquidos exportados, mas com baixo faturamento sobre o produto.

A balança comercial mineral voltou a crescer em valor FOB até 2021, ano em que a pandemia do vírus da COVID-19 impactou a economia mundial, com seus resultados desencadeando uma diminuição produtiva substancial na indústria da mineração e em uma grande parcela das atividades industriais globais.

Nesse cenário de superávits bilionários na balança comercial mineral, algumas das empresas brasileiras são as principais responsáveis pelos resultados, sendo ranqueadas pela revista Brasil Mineral (2022) de acordo com alguns critérios de faturamento e produção.

Quadro 1: As cinco maiores empresas brasileiras de mineração (2022)⁶

Ranking	Empresas	Produto	Número de operações	Valor da Produção (em R\$)	% no valor da PMB*
1	Vale S.A.	Minério de Ferro	23	164.255.964.993,49	48,43
2	Minerações Brasileiras Reunidas S.A. - MBR	Minério de Ferro	5	20.004.211.531,69	5,89
3	Anglo American Minério de Ferro Brasil S/A	Minério de Ferro	2	19.098.758.377,08	5,63
4	CSN Mineração S.A.	Minério de Ferro	2	18.578.566.815,77	5,47
5	Salobo Metais S.A.	Cobre e ouro	1	7.949.261.276,65	2,34

Fonte: Brasil Mineral (2022, p. 52)

* Produção Mineral Bruta

A relevância da mineradora Vale no contexto brasileiro é nítida, com uma grande participação em todos os indicadores selecionados e sendo responsável por quase metade do valor da PMB do país – 56,66%, considerando a MBR e a SALOBO, empresas controladas pela

⁶ De acordo com o Formulário de Referência 2022, da Vale (2022), a Minerações Brasileiras Reunidas S.A. e a Salobo Metais S.A são empresas controladas pela Vale, que tem 100% de participação em ambas.

Vale. Além disso, o minério de ferro, por ser uma das principais *commodities* brasileiras, tem uma grande parcela das empresas o elencando como seu principal produto.

Ademais, a indústria mineral, bem representada pelas empresas listadas acima – e muitas outras – é responsável por uma arrecadação de valores que estrutura parte da economia brasileira. Um dos principais valores pagos pelas mineradoras é a Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (CFEM), que “é uma contraprestação pela utilização dos recursos minerais em seus respectivos territórios, isto é, ela é uma contrapartida da empresa exploradora aos municípios, estados e União pela exploração dos minerais. Foi estabelecida pela Constituição de 1988” (CNM, 2012, p. 179).

Conforme Dorin *et al.* (2014), a alta demanda global por matérias-primas, a trajetória de diminuição dos teores contidos dos minérios, mercado de trabalho rígido e elevados padrões de requisitos de produção em conjunto com a economia de recursos ambientais são os principais desafios da indústria de mineração. Apesar disso, o setor se mantém no topo do espectro quando se trata de recursos da cadeia de abastecimento. Com um valor de produção global crescente desde 2000, apesar das instabilidades, o setor mineral foi impulsionado, principalmente, por países como China, Índia e outras economias emergentes e pelo aumento dos preços associados das matérias-primas (SUUTARINEN, 2015).

Como caracteriza Sishi (2017), a mineração traz ganhos econômicos diretos para países com renda nacional baixa ou média, desempenhando um papel importante na economia de um país. Com isto, o setor deve ser equipado com tecnologia contemporânea para alcançar excelência operacional. Porém, a mineração está sempre buscando formas de cortar custos e reduzir despesas gerais, fatores estes que podem ser alcançados por meio de inovações tecnológicas.

Um exemplo observável é o setor manufatureiro que, em contraste ao setor mineral, tem apresentado avanços significativos em termos de aproveitar novas tecnologias. Entretanto, a indústria de mineração ainda está atrasada em relação à indústria de transformação no que se refere avanço tecnológico em seus empreendimentos (SHROUF *et al.*, 2014).

As mineradoras podem conseguir produção eficiente e inteligente com a adoção de novas tecnologias, porém, como caracteriza Sishi (2017), o setor não estava fazendo o melhor uso das oportunidades de novas tecnologias disponíveis, tema este que será abordado na próxima seção.

2.2 Arranjos inovativos e a inovação aberta na mineração

Na trajetória da indústria de mineração é possível observar que, na maioria das vezes, as empresas são mais propensas a adquirir tecnologias externas ao invés de internalizar P&D na busca por inovação. Desse modo, o setor ser intensivo em capital é a principal causa para tal e, para inovar, mesmo que de modo não disruptivo, os projetos devem possuir baixos níveis de risco ou um retorno elevado. Com isto, o primordial elemento observado na implementação de alguma tecnologia inovadora é a segurança refletida em usos já realizados por outros setores. Por fim, quando implementadas, as novas tecnologias geralmente têm vida-útil de 30 anos e a modificação durante esse período de tempo é onerosa ou inviável (OLVERA, 2021).

A adoção de novas tecnologias por parte da indústria mineral é, como caracteriza Olvera (2021), por meio de quatro mecanismos: Aquisição de tecnologias ofertadas por fornecedores especializados, terceirização, colaborações de código aberto e alianças industriais. Vale ressaltar a “aquisição de tecnologias ofertadas por fornecedores especializados”, advindas principalmente por meio de contratos de longo prazo e atendendo as necessidades da demandante. Outrossim, quando a inovação é para operações em andamento, as mesmas tem caráter incremental e devem se adaptar ao processo pré-existente. Algo importante no setor mineral é que, dado um projeto ativo de mineração com inviabilidade de melhoramentos tecnológicos e o longo ciclo de vida das máquinas e equipamentos, tecnologias radicais geralmente são implementadas em novas plantas.

Sob uma perspectiva histórica da cadeia de inovações da mineração mundial, De Souza (2007, p.1) admite duas premissas básicas para o setor: “1) invenção e inovação são complementares; 2) a cadeia de inovações na mineração mundial foi sustentada por microinvenções”. E como complementa Mesquita *et al.* (2016), a indústria de mineração tem uma tendência reconhecida de operar com baixa intensidade tecnológica. A propensão observada é que, com a necessidade de atender aos requisitos de sustentabilidade impostos, as operações do setor incorporam tecnologias incrementais em busca de uma maior eficiência produtiva. Desse modo, as tecnologias são adotadas para “otimização, controle e automação de operações e viabilização de novos empreendimentos de lavra e transformação mineral” (MESQUITA *et al.*, 2016, p. 326).

Abarcando as principais características do setor, Rody (2021), de acordo com Pavitt (1984), define que:

“O setor de mineração é intensivo em produção e como tal é intensivo em escala [...]. Devido à economia de escala, é caracterizado pela presença de empresas de grande porte. O setor possui diversificação tecnológica vertical permeado por inovação de

produto e processo. Há ocorrência de aprendizado interno, tipo *learning-by-doing* assim como há esforço de pesquisa e desenvolvimento próprio. Os fornecedores também são fontes de inovação” (Rody, 2021, p. 66).

Apesar da tradicional tendência a não inovar disruptivamente, o setor mineral incorpora tecnologias a ponto de gerar um aperfeiçoamento cumulativo, em que tais invenções alheias passam por estágios de experimentação, implementação, aperfeiçoamento, formatação e modificação que, por fim, geram tecnologias bem diferentes das originais, se adaptando e levando a mineração aos mais altos níveis de produtividade (DE SOUZA, 2007).

O parágrafo anterior permite adentrar na segunda premissa de De Souza para os arranjos inovativos da mineração, que afirma que o setor foi sustentado por microinvenções. As microinvenções são definidas por Mokyr (1990, p. 13, tradução livre) como “as pequenas etapas incrementais que melhoram, adaptam e agilizam as técnicas existentes já em uso, reduzindo custos, melhorando a forma e a função, aumentando a durabilidade e reduzindo os requisitos de energia e matérias-primas”. O que vale destacar que, ainda de acordo com o autor, as macroinvenções, definidas como invenções “sem parentesco claro, representando uma clara ruptura com a técnica anterior” (MOKYR, 1990, p. 231), não têm relação de substituição com as microinvenções, sendo complementares, o que caracteriza a essência do progresso tecnológico (MOKYR, 1990).

Nesse contexto, uma grande diferença entre uma microinvenção e uma macroinvenção é o contexto em que elas possam se desenvolver. Enquanto uma microinvenção é fruto de, ao menos em certo grau, variáveis econômicas e buscas intencionais de aperfeiçoamento, as macroinvenções tendem a surgir por meio de genialidades individuais ou por “sorte”, mesmo que tendo alguma força econômica guiando os interesses por trás delas. Com isto, o setor mineral é dominado por fornecedores que geram microinvenções com mais intensidade do que a geração de macroinvenções (DE SOUZA, 2007).

Pelo grande custo e dificuldade em inserir inovações disruptivas em uma planta ativa de mineração, há uma tendência a, quando existirem inovações desse tipo, elas serem inseridas em grandes projetos e novas plantas, como é o caso da mina S11D, da Vale:

“Em relação ao processo de lavra, os tradicionais caminhões fora de estrada, comuns na mineração, serão substituídos por uma estrutura composta por escavadeiras e britadores móveis, conhecida como *truckless*. Com isso, o minério será transportado por um sistema de correias com 9 km de extensão entre o local da extração e a usina de processamento do minério. Para se ter uma ideia, em uma mineração convencional de porte semelhante seriam usados 100 caminhões fora de estrada” (VALE, 2013, p. 1)

Tal trecho demonstra a dificuldade de se implementar inovações tecnológicas muito complexas em uma planta ativa, pela grande mudança em toda estrutura da mineração convencional, construída para durar décadas. Além disso, mostra a substituição da estrutura do processo produtivo *mainstream* – marcado por fornecedores de caminhões fora de estrada, peças e equipamentos de reposição advindos de terceiros. Porém, é necessário se atentar à adoção de tecnologia já existente em outras indústrias (correias, escavadeiras, *etc.*) para aprimorar os processos da nova planta. De acordo com a Vale (2013, p. 1): “O projeto reuniu fornecedores de 12 países distribuídos em 4 continentes”, elencando a importância das relações com cadeias de fornecedores.

Mas as inovações da indústria de extração mineral não são, tão somente, adotadas por grandes projetos e novas plantas. Há uma gama de fornecedores que capturam informações a respeito das necessidades da mineradora e desenvolvem soluções isoladas e autônomas para as mesmas, incorporando todos os riscos e custos de pesquisa. Porém, apesar de ser um setor intensivo em escala, Gomes (2017) compreende que também é dominado por fornecedores que, por sua vez, não têm muitos incentivos para a P&D de inovações disruptivas. As mesmas têm um maior foco no melhoramento das máquinas e equipamentos que devem ser capazes de se encaixar à operação em curso (GOMES, 2017, p. 683).

A viabilidade estrutural para iniciar qualquer inovação disruptiva nos processos é pouco frequente, mas vale ressaltar que o que é observado no caso da extração e tratamento de nióbio ou terras-raras, por exemplo, foge dos padrões básicos da mineração. Isto explicita que, apesar da relevância das *bulk commodities*, elas não são os únicos produtos do setor, e que existem outras características inovativas na mineração, apesar de que em menor frequência.

Um modo de aumentar a comunicação com diversas instituições, de modo a cruzar o conhecimento tácito de setores baseados em ciência e tecnologia com a mineração, foi o caso das colaborações de código aberto, que permitem uma utilização de uma base de conhecimento compartilhada e torna o mercado setorial menos dependente de um único ofertante ou demandante, um exemplo bem presente na experiência brasileira é o Mining Hub (MINING HUB, 2021)

O Mining Hub brasileiro é uma parceria aberta entre mineradoras, *startups* e a Agência Nacional de Mineração (ANM) com o objetivo de resolver a falta de canais de comunicação, de espaços de prototipagem e de mecanismos de licenciamento e difusão tecnológica. A iniciativa coleta as necessidades das firmas e as tornam públicas, disso *startups* podem se inscrever com propostas, que serão avaliadas pelas mineradoras e, caso uma ou mais deseje

investir nessa tecnologia/solução, elas fornecem o capital necessário para os projetos selecionados e também algum espaço para testes (TIAGO, 2019).

Tal iniciativa descrita no último parágrafo facilita, por muito, a presença de inovações importantes para o setor, mas não descaracteriza a presença intrínseca de fornecedores. Ademais, não só as iniciativas de inovação aberta resultam em progresso tecnológico no setor. Mesmo com baixa intensidade e frequência, alguma empresa pode adotar uma estratégia ofensiva⁷ e, conseqüentemente, disruptiva, buscando a “liderança tecnológica em determinados segmentos da indústria”, caso contrário não haveria progresso tecnológico na mineração desde os primórdios (TIGRE, 2009, p. 172).

A estratégia de redução de custos e minimização de riscos é um fator que limita a capacidade das firmas da indústria mineral em investir em inovações radicais, o que é agravado pelo fato de que grande parte das soluções tecnológicas locais só se tornam visíveis aos fornecedores por meio de interações informais⁸ (PIETROBELLI *et al.*, 2018). Além disso, o risco em adquirir tecnologias emergentes de terceiros (com ênfase em fornecedores de soluções pontuais e não-testadas) é muito alto, o que as faz considerar o custo de transação superior ao desenvolver tecnologias internamente (CARMIGNANO, 2021). Para Bryant (2015), em última instância, a falta coletiva de P&D, investimentos em inovação pelo setor, e a estratégia rígida de busca de reduções de custo de curto prazo desestimulam os incentivos internos e externos a gerar novos avanços tecnológicos.

Porém, com o Mining Hub ampliando suas atividades, as mineradoras se beneficiam da diluição de riscos da inovação, já que várias empresas adotam os projetos e podem se apropriar dos resultados não necessitando incorrer em licenciamentos, visto que o produto da parceria não é exclusivo de um único participante. Por outro lado, as *startups* se favorecem da parceria pois há uma possibilidade de financiamento, de prototipagem e de testagem dos projetos inovativos. Além disso, gera conhecimento que possibilita a firma emergente a se aprofundar com sucesso no mercado.

⁷ “A estratégia ofensiva de inovação é adotada por empresas que buscam liderança tecnológica em determinados segmentos da indústria[...]. O inovador geralmente corre grandes riscos inerentes à inovação pioneira, pois introduz uma ideia ainda não testada no mercado[...]. A estratégia inovadora ofensiva envolve não apenas P&D, mas também funções igualmente importantes, como propaganda e marketing, logística e criação e adaptação de novas rotinas organizacionais. Serviços inovadores precisam funcionar bem e estar integrados aos demais setores da empresa” (TIGRE, 2009, p. 172-173).

⁸ Pietrobelli *et al.* (2018) compreendem que fornecedores locais têm grande importância na atividade inovadora das mineradoras. Para eles, a relação com fornecedores locais não foi construída com fortes vínculos com as mineradoras, entretanto “às vezes elas exigem soluções tecnológicas de seus fornecedores atuais ou potenciais e fornecem informações sobre suas necessidades, mas apenas por meio de interações informais e não planejadas com fornecedores locais” (p. 2, tradução livre).

Com tais características da estrutura inovativa presente na mineração e com as perspectivas encontradas a partir da inovação aberta, é possível observar mudanças significativas nos arranjos inovativos do setor. E, além disso, tecer diferentes panoramas para os resultados, benéficos ou não, da interação indústria-universidade-governo.

Desse modo, pode-se observar uma nova dinâmica inovativa que demonstra a intensificação do ecossistema de inovação da mineração nos últimos anos: o governo, por intermédio da ANM, do Centro Tecnológico de Mineração (CETEM)⁹, dentre outros, incentiva e cria modelos de inovação aberta em conjunto com Mining Hub e outras plataformas de pesquisa, tidas como organizações híbridas. Estas, por sua vez, atraem universidades e pesquisadores aos projetos inovativos, unindo, por fim, os incentivos financeiros e estruturais ofertados pela indústria e pelo governo, à academia.

A mineradora Vale é uma protagonista nessa interação proporcionada pelo *Minig Hub*, gerando vários desafios que demandam um ecossistema de inovações amplo para que soluções possam surgir, tema da próxima seção do presente estudo.

2.3 Uma descrição da Vale

Atualmente a Vale S/A (denominada apenas Vale por todo o estudo) é uma empresa privada e de capital aberto, sendo uma das maiores mineradoras globais, presente em cerca de 20 países e sediada no Brasil. Criada em 1º de junho de 1942 pelo presidente Getúlio Vargas por meio do Decreto-Lei nº 4.352, a estatal Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), posteriormente Vale, tinha um prazo de duração de 50 anos (VALE, 2022). Em um contexto histórico turbulento no momento de sua criação, a antiga CVRD foi parte de uma parceria entre Brasil, Estados Unidos e Inglaterra para fornecimento de minério de ferro brasileiro aos Aliados durante a Segunda Guerra Mundial. Nesse cenário, a empresa foi constituída com o objetivo primordial de garantir o acesso do mercado internacional às ricas jazidas brasileiras de minério de ferro e, indiretamente, atender aos interesses dos projetos de industrialização do país (MILANEZ *et al.*, 2018).

A constituição da CVRD foi fomentada pela guerra e, dado o apoio brasileiro às forças bélicas dos supracitados países, “o governo britânico adquiriu e transferiu as jazidas de minério de ferro da Itabira Iron Ore Company à estatal, e o governo dos Estados Unidos financiou operações e a logística de exportação da companhia” (SAES *et al.*, 2021, p. 4). Nesse cenário inicial, com suas operações baseadas em Minas Gerais, a CVRD consolidou-se a partir de 1950

⁹ O CETEM é uma unidade de pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação que atua no “desenvolvimento de tecnologia para o uso sustentável dos recursos minerais brasileiros, com foco na inovação tecnológica para o setor mineral” (CETEM, 2023, p. 1).

como uma exportadora mundial de minério de ferro, se firmando como uma das maiores exportadoras de minério de ferro, posição que ocupa até hoje (SAES *et al.*, 2021; MILANEZ *et al.*, 2018; FANK, 2018).

As décadas do governo militar brasileiro vieram com a mentalidade de “enraizamento” e desenvolvimento do território amazônico, tecendo incentivos para a exploração das riquezas amazônicas. Nesse cenário, nos anos 1960, foram descobertas grandes reservas de bauxita e minério de ferro, alavancando a produção mineral brasileira. Responsável por quase 7% das exportações totais de minério de ferro na década de 1960, o Brasil ampliou essa participação para 25% na década de 1980 e se mantendo no patamar de 30% a partir da década de 1990 (SAES *et al.*, 2021; MILANEZ *et al.*, 2018; FANK, 2018).

Nos anos 1990 o neoliberalismo passa a fazer parte dos programas políticos brasileiros levando à privatização de várias estatais, dentre elas, a CVRD. Em 1997, durante o governo de Fernando Henrique Cardoso, a CVRD foi vendida para um consórcio formado por “grupos privados, fundos de pensão de estatais brasileiras e pela holding do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social” (SAES *et al.*, 2021, p. 5).

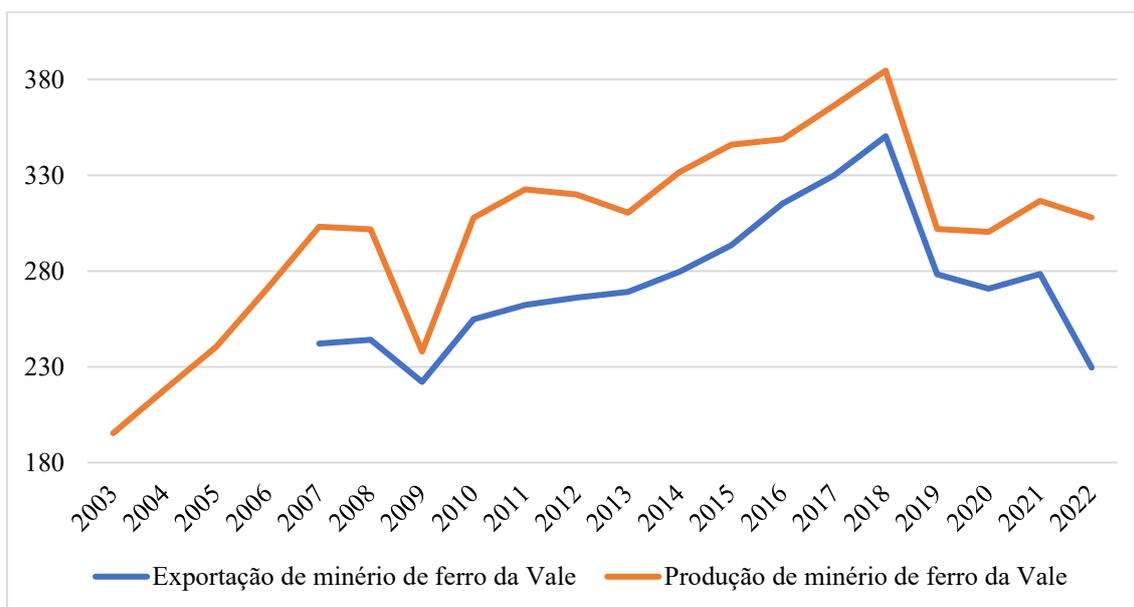
Nos primeiros anos como uma empresa privatizada, a CVRD não obteve retornos significativos, passando por um importante gravame que impactou negativamente a produção e exportação de minério, a crise da Ásia, que teve início no segundo semestre de 1997. Em 1998 os efeitos da crise levaram a uma forte diminuição da produção de aço nos principais países importadores de minério de ferro. Em complemento, a negociação de preços do minério de ferro para o ano de 1999 foram ainda mais desfavoráveis. Porém, as ações de vários governos mundiais para reverter a tendência de recessão econômica surtiram efeito na cadeia mundial de ferro no segundo semestre de 1999, ano de início da recuperação econômica do setor. Em 2001, após aquisições – direta ou indiretamente, parcial ou integralmente – de várias outras mineradoras (FERTECO, CAEMI, Socoimex, SAMITRI *etc.*), as vendas de minério de ferro e pelotas da CVRD chegaram aos 143,7 milhões de toneladas em 2001, 21,7% maior que o ano anterior. A assinatura do contrato de fornecimento de 6 milhões de toneladas anuais de minério de ferro para a BAOSTEEL, a então maior siderúrgica da China, por 20 anos, foi outro motivo do impacto nos resultados da empresa (TOMÁS, 2006).

Nesse cenário de alta demanda chinesa, com vários acordos firmados entre produtoras de aço chinesas, a CVRD aumentou a exportação para a China de 9,2 milhões de toneladas para 14,9 milhões de toneladas em 1 ano – 2000 a 2001 (TOMÁS, 2006, p. 74).

Em 2007, a CVRD adotou novos nome e logomarca, buscando uma reconfiguração da companhia perante o mercado, passando a ser nomeada Vale. A empresa passou por essa reconfiguração no ápice do crescimento de produção de minério de ferro em relação aos anos anteriores, como demonstra o Gráfico 3. Apesar dos impactos em 2009 e 2019, apresentou uma certa estabilidade em quantidade produzida. Haryono *et al.* (2021) complementam:

“A Vale S.A. (Vale) cresceu e se tornou uma das histórias de sucesso mais premiadas do Brasil – uma empresa nacional que é capaz de competir globalmente. É uma das maiores mineradoras do mundo, com quatro principais linhas de negócios: mineração, logística, energia e siderurgia. A empresa está sediada no Rio de Janeiro, Brasil, e atualmente está listada em três bolsas de valores: Brasil, Bolsa, Balcão (B3 S.A.); Bolsa de Valores de Nova Iorque; e Latibex: Bolsa de Madrid. As operações da Vale abrangem 25 países, com mais de 71.000 funcionários em todo o mundo” (HARYONO *et al.*, 2021, p. 497 – 498).

Gráfico 3: Exportação¹⁰ e Produção de minério de ferro da Vale* (2003 a 2022 - Milhões de toneladas métricas)



Fonte: Elaboração própria com base em Vale (2023) e SINFERBASE (2023)

*A partir de 2013, a quantidade produzida é alterada, excluindo a produção atribuível à empresa Samarco.

A partir do Gráfico 3, ainda, é possível verificar a importância do mercado externo para a Vale, sendo de 80% a 93% da produção da mineradora exportada, exceto em 2022, quando exportou apenas 74,5% da quantidade produzida.

¹⁰ Os relatórios do Sinferbase contam com informações de exportação apenas após 2008.

Em 5 de novembro de 2015 uma barragem de rejeitos na mina de minério de ferro do Complexo de Mineração Samarco Mariana, próximo à Mariana, Minas Gerais, rompeu, poluindo o abastecimento de água para milhares de pessoas, destruindo várias casas, deixando cerca de 750 desabrigadas e levando 19 pessoas à morte. A barragem foi construída pela Samarco, uma *joint venture* entre a Vale e a BHP Billiton Ltd (BHP). Apesar dos inúmeros problemas sociais, governamentais e de mercado gerados pelo desastre de Mariana, em 25 de janeiro de 2019 outro rompimento resultou em mais um fato relevante para a história da Vale, quando a barragem de rejeitos tóxicos de Brumadinho, Minas Gerais, levou à morte de 259 pessoas e 11 corpos não encontrados, dados como pessoas desaparecidas, além de outros desastres (HARYONO *et al.*, 2021).

Apesar dos problemas ocorridos nos últimos anos, a Vale permanece em sua trajetória de domínio oligopolizado de *commodities* essenciais para a economia mundial e objetivos de um desenvolvimento produtivo sustentável e inovador. De acordo com o Relatório 20-F de 2021 da Vale (2022), a empresa é:

“uma das maiores companhias de mineração e metais do mundo, com base na capitalização de mercado. É um dos maiores produtores mundiais de minério de ferro e níquel. Além de também produzirem pelotas de minério de ferro, cobre, metais do grupo da platina (PGM), ouro, prata e cobalto, também participam da exploração mineral *greenfield* em cinco países. Operam grandes sistemas de logística no Brasil e em outras regiões do mundo, incluindo ferrovias, terminais marítimos e portos, integrados às nossas operações minerárias. Além disso, possui centros de distribuição para dar suporte à entrega de minério de ferro ao redor do mundo. Diretamente e por meio de coligadas e joint ventures, também temos investimentos em negócios de energia e aço” (VALE, 2022, adaptado).

A busca por progresso técnico e tecnológico, além da interação com diversos atores que buscam mutuamente inovar seus produtos e processos, faz do ecossistema inovativo da tradicional empresa brasileira o foco do Capítulo 4 do presente estudo.

3. UMA ANÁLISE DOS ECOSISTEMAS INOVATIVOS DA VALE: ESTRUTURAÇÃO E INTENSIDADE

De acordo com os capítulos anteriores, o desenvolvimento de inovações na indústria da mineração é tradicionalmente lento e com características incrementais e, com isto, o objetivo do presente capítulo é contextualizar e analisar os ecossistemas de inovação da mineradora Vale, verificando também de que forma e com qual intensidade estes impactaram na evolução tecnológica da empresa. Na próxima subseção serão analisadas as interações da Vale com diversos atores e, tendo em vista que o setor mineral é dominado por fornecedores (DE SOUZA, 2007) do ponto de vista do fluxo tecnológico, será dada certa ênfase nestes, observando também as interações com o governo, com as universidades e com concorrentes/rivais.

A abordagem do estudo foi realizada por meio da utilização da estratégia qualitativa, visto que, por ser um tema recente, poucas pesquisas e variáveis foram desenvolvidas para a mensuração de um ecossistema de inovação. De outro modo, a abordagem qualitativa permite uma coleta de dados de formas variadas, proporcionando uma visão ampla do objeto da pesquisa (VENTURA, 2007). Como elabora Gerhardt (2009, p. 32), a pesquisa qualitativa se preocupa com “os aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão e explicação da dinâmica das relações sociais”, que neste caso, serão interpretadas como as dinâmicas das interações diversas da mineradora.

A pesquisa foi elaborada a partir do método descritivo, trazendo várias observações de diferentes atores que compõem o ecossistema de inovação da Vale, além da própria empresa. Segundo a literatura, esse tipo de pesquisa é utilizado para descrever fatos e fenômenos de determinada realidade (FANTINATO, 2015), exigindo muitas informações sobre o que se deseja pesquisar. Utilizando-se da abordagem descritiva, a pesquisa abordou variáveis que compõem o universo pesquisado, que em conjunto com análises das estratégias e resultados, poderá contribuir para a compreensão das interações que possibilitam incentivos e desafios para a inovação em um setor extrativo.

A monografia foi redigida a partir do método indutivo, já que foram observadas as interações industriais de uma das principais empresas do setor de mineração e, com certa segurança, será possível chegar a padrões observados nas demais firmas, formando assim um resultado generalista do funcionamento de tais ecossistemas de inovação em todo o setor. Pelo método indutivo, a partir de observações será possível formular conclusões prováveis para a causa fenômeno (GERHARDT, 2009).

Foi elaborado um estudo de caso, utilizado como método de pesquisa descritiva, para dar prosseguimento ao projeto, analisando a Vale, em específico, e a intensidade e dinâmica de interações com diversos atores. O estudo de caso “visa conhecer em profundidade o como e o porquê de uma determinada de uma determinada situação [...] procurando descobrir o que há de mais essencial e característico” (FONSECA, 2002, p. 33), além de poder se tornar uma base de dados para futuras pesquisas.

O universo de pesquisa, segundo Gerhardt (2009), está relacionado ao grupo diretamente envolvido com o estudo. Porém, a possibilidade de se estudar a totalidade das interações da empresa Vale entre 2000 e 2020 é impraticável, desse modo, a pesquisa buscou delimitar o universo em alguns atores, sendo estes: a Vale, as instituições envolvidas nos projetos de inovação aberta, o Instituto Tecnológico Vale (ITV) e os fornecedores críticos, definidos ano a ano. Com essa delimitação, busca-se identificar como é, qual a intensidade, e quais os resultados das interações entre tais atores.

Os dados foram designados por meio da coleta secundária realizada diretamente das fontes de dados da Vale e demais instituições, sendo todos os valores monetários/financeiros, deflacionados. A análise de tais dados foi realizada por meio de comparações, correlações e linhas de tendência em tabelas e gráficos, além do cálculo de grau de esforço tecnológico (gastos com P&D da empresa/Valor adicionado líquido), dentre outras variáveis, tendo em mente que um dos principais objetivos é descrever a intensidade das interações presentes no universo inovativo da Vale.

Ao todo, foram registrados 22 fornecedores críticos, 40 instituições parceiras do ITV, 23 fornecedoras e parceiras eventuais, 20 projetos de inovação aberta com centenas de interações indiretas, além de 784 patentes, para caracterizar os ecossistemas de inovação da Vale e verificar a intensidade e as principais características da trajetória inovativa da empresa.

3.1 Análise das interações em que a Vale se insere e a relação com fornecedores especializados

A partir de 2011, a Vale iniciou a divulgação de informações dos seus principais fornecedores por meio do Formulário de Referência anual da empresa. O Quadro 2 representa um compilado de dados a respeito dos principais equipamentos e fornecedores da Vale entre 2010 e 2021 e, cabe ressaltar, apesar de informações básicas, pode ser possível compreender parte da estratégia e da tendência tecnológica da empresa ao longo dos últimos anos.

Quadro 2: Categorias de equipamentos adquiridos e principais fornecedores da Vale (2010 a 2021)

	Principais categorias de equipamentos adquiridos ano a ano	Principais fornecedores dos principais equipamentos adquiridos ano a ano	Percentual do total de compras da Vale correspondente aos principais fornecedores
2010	Caminhões Fora de Estrada, Carregadeiras, Caminhões Auxiliares, Tratores, Escavadeiras, Vagões e outros equipamentos de mineração.	Letourneau, Bucyrus International Inc, Sotreq CV, Amsted-Maxion e Komatsu	6%
2011	Caminhões Fora de Estrada, Carregadeiras, Caminhões Auxiliares, Tratores, Escavadeiras, Vagões e outros equipamentos de mineração.	Letourneau, Bucyrus International Inc., Sotreq CV, Amsted-Maxion e Komatsu	5%
2012	Equipamentos de manuseio, infraestrutura, transporte e locomotivas.	Metso, Caterpillar/Sotreq e Ge Transportation	4%
2013	Equipamentos de manuseio, transporte, locomotivas e infraestrutura.	Caterpillar, Ge Transportation, Metso, Sandvik e Letourneau	5%
2014	Transporte, locomotivas e vagões.	General Eletric, Caterpillar, Astra Vagoane Calatori e Amsted-Maxion	4%
2015	Equipamentos de cominuição e vagões.	Sandvik e Qiqihar Railway Rolling Stock	3,2%
2016	Equipamentos de elevação, vagões e distribuição de energia.	Amsted-Maxion, Thyssenkrupp e Abb	2,6%
2017	Vagões, sistemas e equipamentos ferroviários e equipamentos de elevação.	Amsted-Maxion, Randon, Cavan e Thyssenkrupp	1,7%
2018	Vagões, sistemas, veículos, equipamentos ferroviários e equipamentos de elevação.	Amsted-Maxion, Randon, Cavan, Thyssenkrupp, Caterpillar e Komatsu	9%
2019	Vagões, sistemas, veículos, equipamentos ferroviários e equipamentos de elevação.	Amsted-Maxion, Epiroc, Cavan, Thyssenkrupp, Caterpillar e Komatsu	6%

	Principais categorias de equipamentos adquiridos ano a ano	Principais fornecedores dos principais equipamentos adquiridos ano a ano	Percentual do total de compras da Vale correspondente aos principais fornecedores
2020	Vagões, sistemas, veículos, equipamentos de mineração, equipamentos ferroviários e equipamentos de elevação.	Amsted-Maxion, Epiroc, Wabtec, Hidrau Torque (GHT), Flsmidth, Thyssenkrupp, Caterpillar e Komatsu	8%
2021	Vagões, sistemas, veículos, equipamentos de mineração, equipamentos ferroviários e painéis fotovoltaicos	Correias Mercurio, Jinko Solar, Epiroc, Wabtec, GHT, Flsmidth, Thyssenkrupp, Caterpillar e Komatsu	8%

Fonte: Elaboração própria com base em Vale (2023)

Em suma, observando o Quadro 2, é possível verificar uma redução tanto da quantidade de fornecedores críticos quanto do percentual que estes representavam do total de compras da mineradora entre os anos de 2010 e 2017. Entre 2018 e 2021, a empresa teve um aumento do número de principais fornecedores e do percentual que os grupos correspondem do total de compras.

Entretanto, ao analisar as atividades das principais empresas fornecedoras da Vale, notamos um padrão de fornecimento. A Caterpillar (Cat®) ocorre como principal fornecedora em 9 dos 12 anos, sendo representada pela Sotreq¹¹ em 2 destes anos. A Caterpillar é fabricante líder mundial de equipamentos para construção e mineração, motores a gás natural e diesel para fora de estrada, turbinas a gás industrial e locomotivas elétricas e a diesel (CATERPILLAR, 2023). A AmstedMaxion é outra empresa recorrente na lista dos principais fornecedores da Vale, permanecendo por 8 dos 12 anos analisados, e é especializada em fabricação de componentes ferroviários, com ênfase em peças de aço (AMSTEDMAXION, 2023). A Komatsu é uma fornecedora de equipamentos, tecnologias e serviços essenciais para a mineração – e outros setores – com ênfase na comercialização de equipamentos móveis, tratores, perfuratrizes, caminhões fora de estrada e várias outras máquinas pesadas (KOMATSU, 2023). A Komatsu foi uma fornecedora crítica da Vale por 6 dos 12 anos analisados.

¹¹ Sotreq é Revendedora Oficial Caterpillar no Sudeste, Centro-Oeste, Norte e Nordeste do Brasil (SOTREQ, 2022)

Uma fornecedora importante para a Vale nos últimos 6 anos (2016 a 2021) foi a Thyssenkrupp, uma das quatro empresas que mais apareceram na lista de principais fornecedores. A Thyssenkrupp também é uma empresa com produtos e serviços semelhantes à Caterpillar, AmstedMaxion e Komatsu – máquinas pesadas e peças de reposição, mas com um foco crescente em tecnologias complexas e sustentáveis, além de trabalhar nas áreas de engenharia automotiva, logística, tecnologia vegetal, produção de aço, tecnologias de elevação e dentre outros produtos e serviços altamente tecnológicos (THYSSENKRUPP, 2023)

Algo a se notar é que houve uma mudança no padrão de fornecimento da Vale ao longo dos anos analisados. Em geral, mas não absolutamente, os principais fornecedores do período de 2010 a 2015 – possivelmente antes desse período também – foram empresas especializadas em máquinas pesadas, peças e componentes para reposição e manutenção das máquinas e equipamentos já existentes nas unidades de mineração. Nesse cenário, a Vale não revela um histórico de investimento em empresas inovadoras, mantendo maquinários que remontam o século XX e longas parcerias com empresas capazes de reformar o padrão de operação tradicional.

A mudança do padrão pode ser observada a partir de 2016, quando parte das principais empresas fornecedoras da Vale demonstraram ter um foco maior em tecnologia, inovação e automação. Essa nova trajetória tecnológica da mineradora, comprando mais de quem inova, diz muito mais do que um *slogan* autopromocional. Para além das necessidades básicas de manutenção das operações, as quais necessitam de um forte vínculo com fornecedoras de peças e equipamentos de reposição (Caterpillar, Komatsu, AmstedMaxion *etc.*), a Vale passou a ter como principais fornecedoras, desde 2016, empresas como ABB, Randon, Wabtec, FLSmidth e Jinko Solar.

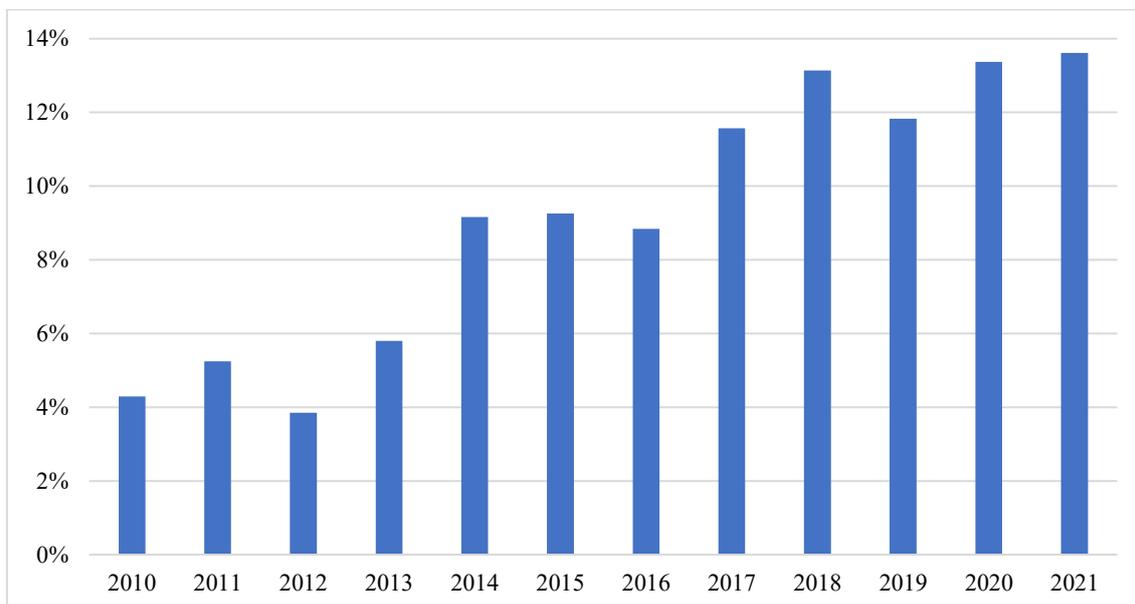
A ABB é uma empresa que trabalha com tecnologias de eletrificação e automação (ABB, 2023). A Randon produz e utiliza avançados sistemas de usinagem, materiais de fricção, componentes para freios e tem foco em produtos inovadores (RANDON, 2023). A Wabtec fornece equipamentos, sistemas e soluções digitais para o transporte ferroviário, inclusive, produzindo a primeira locomotiva 100% elétrica para transporte pesado do mundo (WABTEC, 2023). A FLSmidth é fornecedora de serviços e tecnologia de fluxograma completo para as indústrias globais de mineração e cimento (FLSMIDTH, 2023). A Jinko Solar abrange os principais elos da cadeia da indústria fotovoltaica, concentrando-se em P&D de produtos fotovoltaicos integrados e soluções de energia limpa (JINKOSOLAR, 2023).

As demais empresas listadas no Quadro 2 desempenham funções de fornecimento de peças e equipamentos de reposição e máquinas pesadas, que são os casos da Epiroc e GHT (EPIROC, 2023; GHT, 2023). A Qiqihar Railway Rolling Stock fornece vagões e locomotivas e a Cavan produz estruturas pré-fabricadas de concreto para construção e manutenção das linhas de trem (BLOOMBERG, 2023; CAVAN, 2023). A Correias Mercúrio faz parte de um importante momento da automação de produção da Vale, sendo uma fornecedora de correias de transporte, que na mineração são utilizadas para transporte de grande porte de materiais recém extraídos da mina, sendo uma possível substituição (ou complemento) de grande parte dos caminhões fora de estrada, assunto que será adentrado mais detalhadamente a seguir (CORREIAS MERCÚRIO, 2023).

O Quadro 2 evidencia uma tendência de transição de uma Vale “analógica” para uma “digital”, quando as principais categorias de equipamentos, que nos primeiros seis anos não passavam de veículos, locomotivas e vagões e infraestrutura, começaram a incluir sistemas, equipamentos de elevação, correias transportadoras e painéis fotovoltaicos. Entretanto, a empresa permanece dependente de fornecedores de peças e equipamentos de reposição, além do maquinário necessário para produção e transporte de mercadorias, se aproximando do que Gawer e Cusumano (2014) compreendem como “plataforma industrial”, uma simples e direta relação em que a Vale (líder de plataforma) absorve as inovações incrementais geradas por seus complementadores.

O Gráfico 4 apresenta uma diferente ótica para se observar a relação da Vale com os fornecedores. Mais uma vez, é possível acompanhar uma diferente estratégia da empresa quando se compara a primeira com a segunda metade da série histórica disponibilizada.

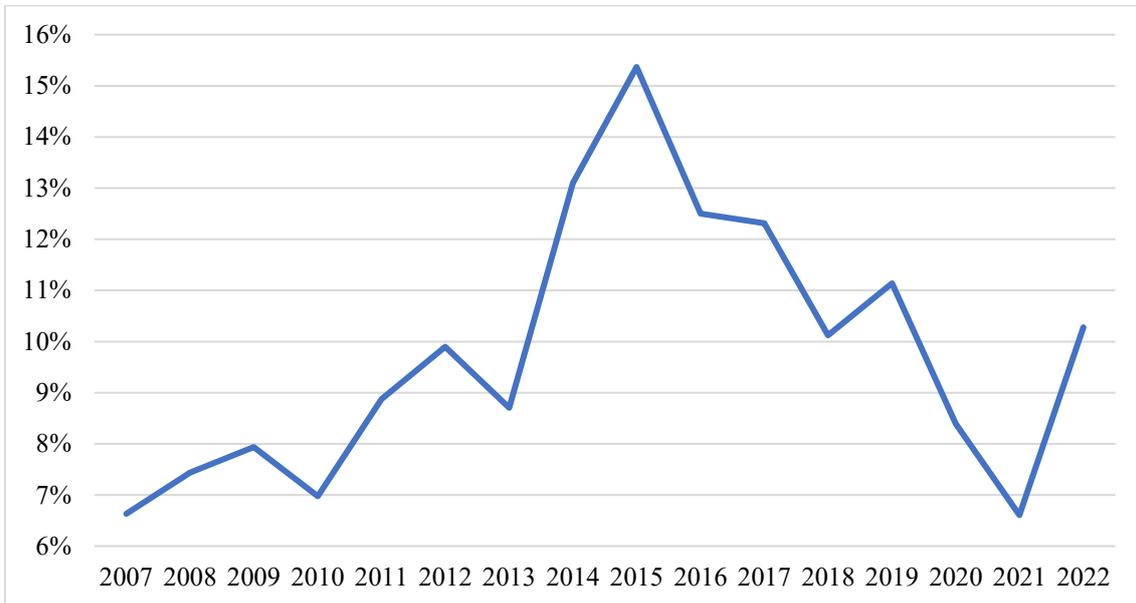
Gráfico 4: Percentual dos 10 maiores fornecedores de insumos, equipamentos e serviços em relação ao total de compras da Vale (2010 a 2021 - %)



Fonte: Elaboração própria com base em Vale (2022)

Por meio do Gráfico 4, nota-se que a Vale passou a concentrar suas compras em alguns fornecedores a partir de 2017, com um maior percentual do total de compras dedicado aos dez principais fornecedores. Apesar de indicar uma tendência a diminuir a quantidade de fornecedores, os dados também podem representar uma estratégia pontual da empresa, em anos específicos, em que houve a necessidade de concentrar as compras em poucos fornecedores específicos. Entretanto, como observado por meio do Gráfico 5, os custos com fornecedores, nos quais empreiteiras também são incluídas, diminuíram drasticamente quando se observa a proporção em relação à ROI a partir de 2015, quando atingiu seu auge.

Gráfico 5: Passivos da Vale com fornecedores e empreiteiros em proporção à Receita Líquida Operacional* (2007 a 2022 - %)



Fonte: Elaboração própria com base em Vale (2023)

Ao cruzar o aumento do percentual do Gráfico 4, a partir de 2015, com a diminuição do percentual do Gráfico 5 a partir do mesmo ano, conclui-se que houve uma diminuição de custos com fornecedores ao mesmo tempo em que a Vale aumenta seus gastos com os dez principais fornecedores, quando é possível compreender uma estratégia da Vale em concentrar seus fornecedores. Apesar disso, assim como afirma De Souza (2007) sobre o setor mineral, a Vale permanece sendo dominada por fornecedores do ponto de vista do fluxo tecnológico, já que a “dominância” no sentido estrito da palavra não é cabível ao caso de uma das maiores mineradoras do mundo, com elevado poder de barganha. Mesmo com tal constatação, os ecossistemas de inovação da Vale renderam o primeiro lugar dentre as empresas mais inovadoras do Brasil em 2022¹², superando empresas como Petrobras, Braskem, Natura, Suzano, Embraer, Gerdau, Ambev, B3 e EDP (FORBES, 2022).

Para tal, além das parcerias com fornecedores clássicos, que atuam de modo a manter a operação das minas em funcionamento, a Vale também interage com instituições de modo a inovar em certos processos em âmbito geral. A POSCO¹³, por exemplo, iniciou uma parceria

¹² Avaliação realizada Fundação Dom Cabral (FDC), baseada nos seguintes cinco critérios quantitativos: Margem Ebitda, Patentes, Carbon Disclosure Project (CDP), P&D e Corporate Venture Capital (CVC). O *ranking* foi composto por 20 empresas de diferentes setores da economia, considerando apenas grandes empresas, com número de funcionários superior a 500, que tivessem Margem Ebitda ativo de 2019 a 2021 (FORBES, 2022)

¹³ A POSCO é uma empresa produtora de aço coreana que foi escolhida como a mais competitiva do mundo por 11 anos consecutivos pela World Steel Dynamics (REVISTA MINERAÇÃO, 2021).

com a Vale em 2021 para desenvolver soluções para a siderurgia focalizadas na redução da emissão de gás carbônico (CO₂), almejando alcançar a neutralidade até 2050, desta forma, criando mais sinergia para chegar em objetivos comuns (REVISTA MINERAL, 2021). Outra importante parceria com fornecedores especializados ocorreu em 2021, quando a Schneider Electric e a Aveva, iniciaram a digitalização de minas da Vale em Minas Gerais. A Vale começou com o projeto buscando um ganho de eficiência por meio do desenvolvimento da dinâmica das operações, controlando remotamente várias tecnologias de cada uma das minas. As duas parceiras foram escolhidas pela Vale por sua especialidade na tecnologia necessária, principalmente porque a empresa entende que esses fornecedores facilitam a integração de tecnologias distintas em vários locais. O objetivo divulgado é que exista maior segurança nas plantas em operação, já que ao reunir todos os dados, existe a possibilidade de gerenciar tudo remotamente, diminuindo a quantidade de pessoas em campo (INFRAROI, 2021).

Grande parte do objetivo de reduzir as emissões de CO₂ passa pela redução da frota de caminhões fora de estrada movido a diesel. Com isto, a firma tem investido, tanto em desafios inovativos, que serão abordados posteriormente, quanto em aquisições pontuais com fornecedoras específicas, como foi o caso da XCMG em 2022, quando a Vale assinou um contrato com a empresa para o fornecimento de caminhões elétricos movidos a baterias que possuem capacidade de armazenamento de 525 Kwh, podendo operar até 36 ciclos, pouco mais de um dia, sem necessidade de parar para recarregar, com zero emissões (BRASIL MINERAL, 2022). Uma forma alternativa de reduzir o impacto ambiental dos caminhões fora de estrada foi utilizar correias transportadoras em minas de extração, inseridas no projeto S11D, em Carajás, como já citado no Capítulo 2. Essa tecnologia permitiu uma diminuição significativa de custos para a mineradora, sendo fornecidos por empresas como a Superior Industries Brasil e a Correias Mercúrio. Além de conter as emissões de CO₂ dos caminhões fora de estrada, com um consumo de diesel reduzido em até 77%, os transportadores permitem uma diminuição do “consumo mensal de água para 110 mil metros cúbicos contra quase 1,7 milhão de metros cúbicos por mês em uma planta a úmido”, gerando uma baixa no preço do minério extraído (ESALQ-LOG, 2015; APELMAT, 2021).

Até o que fora analisado, do ponto de vista de Gawer e Cusumano (2014), o conceito de "plataforma industrial" permanece sendo aplicável no que indica as interações dos ecossistemas de inovação da Vale, observadas a liderança da mineradora e a relação de "absorção" de inovações dos atores relacionados e seus complementadores. De acordo com as fases de evolução dos ecossistemas de Moore (1993), a Vale pode estar na fase de liderança de

seu ecossistema de inovação, principalmente pelo acompanhamento das relações com fornecedores, em que há estabilidade e longevidade das relações, unidas ao comprometimento dos fornecedores para com a empresa.

Outrossim, como parte do ecossistema de inovação da Vale, *joint ventures*, participadas e controladas da Vale, dentre outros, auxiliam na expansão inovativa do setor mineral. Como exemplo, em 2022 a Samarco, da qual a Vale detém 50% do capital, concebeu, projetou e programou um robô que mede a umidade de finos de minério de ferro, automatizando um processo manual que durava duas horas e reduzindo este tempo para 30 minutos. Apesar do esforço inovativo da Samarco, a fabricação e montagem do sistema foi realizada pela empresa Robotics, uma parceria produtiva em que a solução foi pensada pela firma que tinha a necessidade e executada por um fornecedor especializado (SAMARCO, 2022), ressaltando a existência de uma estratégia de *learning by interacting* no histórico recente da empresa.

Buscando expandir sua cadeia de fornecimento de tecnologias, a Vale não se limitou à aquisição de fornecedores especializados e desafios de inovação, diversificando seu investimento por meio da Vale Ventures e do ITV, por exemplo. Ambas as iniciativas, além de aumentar as aplicações atreladas ao desenvolvimento tecnológico, também alavanca a quantidade e a qualidade das interações da Vale com outras empresas, com as universidades e com o governo.

A Vale Ventures é o braço de investimentos em *startups* da Vale, que tem como principal objetivo apoiar o desenvolvimento de soluções inovadoras e tecnológicas para o setor de mineração e outras indústrias relacionadas. Entre os setores que a Vale Ventures tem interesse em investir, destacam-se: automação e robótica, inteligência artificial, internet das coisas, energias renováveis, entre outros. A pressão pelo cumprimento de metas ambientais fez com que a Vale Ventures tenha maior interesse em *startups* que tenham soluções inovadoras e com potencial para melhorar a eficiência e sustentabilidade do setor de mineração, iniciando em 2022 com um orçamento de US\$ 100 milhões disponíveis para investimentos, se limitando a adquirir uma participação de no máximo 5% das *startups* parceiras (BLOOMBERG LÍNEA, 2022).

O Instituto Tecnológico Vale (ITV), por sua vez, é uma instituição sem fins lucrativos mantida pela Vale e com foco em pesquisa, ensino e empreendedorismo. Fundado em 2009, o ITV busca criar e desenvolver soluções inovadoras de médio e longo prazo para todos os estágios de operação da empresa, desde a mina até o produto final, envolvendo também a logística (ITV, 2017). Com um objetivo claro de gerar conhecimento científico, o ITV, dividido

em dois setores principais – ITV Mineração (ITV MI) e o ITV Desenvolvimento Sustentável (ITV DS) – é um braço da Vale que intensifica a interação com as universidades e o governo, sendo uma peça-chave para a ampliação do ecossistema de inovação e para o desenvolvimento tecnológico de sua mantenedora (ITV, 2023).

O ITV passou por um crescimento significativo desde sua constituição. Entre 2011 e 2021 contou com um orçamento de US\$ 209 milhões, no mesmo período haviam 747 publicações científicas e 154 projetos de P&D apoiados. Vale ressaltar que em 2019, com dez anos de operação, o ITV contava com 392 publicações, ampliando esse indicador em mais de 90% em apenas 2 anos. Outra forma de observar o crescimento do ITV é por meio da quantidade de pesquisadores associados, que em 2019 eram 91, sendo 56 bolsistas, e em 2021 chegou aos 281 pesquisadores, destes, 224 bolsistas, um incremento de mais de 300% no total de pesquisadores (VALE, 2022; ITV, 2020). Atualmente, tem parcerias formais com muitas instituições distintas, como evidencia o Anexo 1.

De acordo com o Anexo 1, o ITV demonstra manter uma forte interação com as universidades, também ofertando cursos de pós-graduação, sendo uma forte instituição científica voltada à mineração e ao desenvolvimento sustentável. Além das várias universidades federais e privadas que mantém o vínculo colaborativo com o ITV, outras instituições tecnológicas, nacionais e internacionais, colaboram com o instituto no desenvolvimento de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I).

A estratégia da Vale com o ITV pode estar relacionada a capturar o conhecimento de diversas universidades e centros de pesquisa para desenvolver tecnologias de ponta, já que o ITV permite o acesso a habilidades de diferentes especialistas voltados exclusivamente à aceleração do desenvolvimento de novas tecnologias. Além disso, a inovação perseguida pela Vale por meio do ITV não está ligada, tão somente, a tecnologias. A empresa busca inovar em novos modelos de negócio e em processos mais eficientes, o que naturalmente pode levar a uma melhor eficiência operacional e a menores custos (ITV, 2020). A parceria com o Tanque de Provas Numérico da (Universidade de São Paulo) USP – Anexo 1, por exemplo, reforça a busca por inovação de processos, visto que o TPN é um simulador de operações navais, que tem parceria com a Associação Brasileira de Pilotos e a Marinha do Brasil, utilizando a tecnologia para otimizar logística náutica por meio de modelos matemáticos próprios (TPN-USP, 2023).

Tal instituição pode ser elencada como uma “organização híbrida”, de acordo com Etzkowitz e Leydesdorff (2000), visto que é uma iniciativa da indústria com características das universidades, atuando em dois lados da Hélice Tripla e reforçando o forte vínculo que

instituições com diferentes características podem ter, principalmente quando o objetivo é inovar.

Uma importante interação para os ecossistemas de inovação da Vale é com o governo. Como está sendo analisado um setor de extração e beneficiamento de riquezas minerais, a atuação governamental inicia desde a concessão de área, subsídios e subvenções, também com a regulamentação, outorgamento e fiscalização do setor por meio da ANM, até iniciativas com instituições do governo que fomentam a inovação, como é o caso do Centro Tecnológico de Mineração (CETEM), para além das várias universidades públicas.

Considerando que muitas das interações da Vale com o governo não estão relacionadas à inovação tecnológica, o ITV cumpre a responsabilidade de construir grande parte das parcerias de fomento à inovação com órgãos governamentais para o ecossistema de inovação da empresa. Além da participação e organização de desafios de inovação aberta, o CETEM, assim como o Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais (CNPEM), o Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (CBPF), dentre outras instituições federais de pesquisa, assim como estaduais e municipais, tem parceria formal com o ITV, conforme Anexo 1, e incentivam, apoiam e desenvolvem a inovação para o setor e para a Vale, com exemplos que serão aprofundados na última subseção deste capítulo.

Entretanto, o governo tem uma interação mais normativa com a Vale, se aproximando da função descrita por Leydesdorff (2012) na análise da Hélice Tripla, em que esta esfera é um dos eixos da dinâmica, atuando por meio do controle legislativo e com formulação de políticas públicas, e não como um ator que gera a inovação. Portanto, na Hélice Tripla em que a Vale se envolve, é possível compreender uma organização evoluída, em que a transmissão do conhecimento não segue um fluxo linear, mas segue um livre fluxo de cooperações multilaterais em que o governo se manifesta por meio de diversas instituições (no Brasil, universidades públicas e centros de P&D) para alavancar a inovação, e não apenas para arrecadar impostos da exploração mineral e conceder subsídios e subvenções.

De acordo com Granstrand e Holgersson (2020), a interação com concorrentes, substitutos e complementares¹⁴ é tão importante quanto com os demais atores do ecossistema de inovação. Nesse cenário, grandes empresas concorrentes e complementares contribuem de diversas formas para o desenvolvimento do setor. Um caso a destacar é o da Samarco, uma

¹⁴ Neste caso, o termo “complementar” está relacionado às empresas que dão continuidade à cadeia de produção da mineração, tais como siderúrgicas e metalúrgicas.

empresa que foi criada por meio da cooperação entre duas complementares¹⁵, a Samitri e a Marcona. Por meio desta associação, as duas mineradoras conseguiram, por meio da Samarco, transformar minério itabirítico (de baixo teor de ferro), que antes era tratado como rejeito, em um produto com cerca de 70% de teor de ferro. Posteriormente a Marcona foi adquirida pela BHP e a Vale adquiriu a Samitri, tornando a Samarco uma empresa de propriedade compartilhada de empresas rivais. A Vale e a BHP se uniram ainda à Rio Tinto, outra concorrente, para lançar o desafio de eletrificação de suas frotas “Charge On”, o que será pormenorizado posteriormente (VALE, 2021).

O ecossistema de inovação da Vale é intenso em parcerias cooperativas, como foi possível observar nos exemplos anteriores. Entretanto, acordos com empresas que processam os minerais extraídos geram muitas sinergias para a cadeia de valor do setor por completo. A interação da Vale com siderúrgicas e metalúrgicas vai além da relação de compra e venda, como divulgado pela Reuters em 2023 (UOL, 2023), ano em que várias parcerias foram firmadas com grandes empresas asiáticas em busca de desenvolvimento tecnológico:

“A mineradora Vale anunciou nesta quarta-feira a celebração de sete acordos com parceiros chineses, incluindo uma usina de ferro-níquel na Indonésia, além de soluções de descarbonização e cooperação financeira, técnica e econômica em pesquisas. [...] A Vale Indonésia assinou um acordo para investimento com a Tisco (grupo Baowu) e a Xinhai no projeto Morowali, visando a construção de uma usina de processamento de ferro-níquel com fornos elétricos rotativos (RKEF) e uma produção anual mínima de 73 mil toneladas de níquel e outras instalações de apoio. [...] A Vale também firmou cooperação com a Baoshan Iron & Steel, do grupo Baowu, para desenvolvimento de biocarvão, produto a partir de biomassa considerado como um substituto para o carvão no processo de fabricação de aço, com potencial para reduzir as emissões de carbono.” (REUTERS, 2023 *apud* UOL, 2023, p. 1).

A estratégia antes destacada, de "plataforma industrial", se mostra superficial quando observamos as várias interações com atores não convencionais. Nesse cenário, a definição de ecossistema de inovação sugerida por Granstrand e Holgersson (2020) consegue abranger as demais interações, principalmente quando se observa as relações com rivais e complementadores em busca de inovações para o setor. De um ponto de vista mais delineado, a Vale, até então, se encaixa no ecossistema de inovação descrito por Zahra e Nambisan (2012) como "*orchestra*", assumida a posição de empresa dominante e o grupo de empresas que busca explorar as oportunidades de mercado dessa plataforma de inovação explícita que a Vale

¹⁵ “Enquanto a Marcona possuía experiência em concentração e pelotização de minério de ferro, a Samitri detinha os direitos de lavra do ‘Complexo Alegria’, em MG, rico em minério itabirítico [...]” (SAMARCO, 2023, p. 1).

difunde: a de necessidade de eletrificação e automação para atingir as metas ambientais pactuadas.

Entretanto, é impraticável resumir os ecossistemas inovativos de uma empresa do porte da Vale em apenas um único modelo. Por exemplo, as ações da Vale Ventures se assemelham a um modelo "*creative bazaar*", já que este braço de investimento da empresa compra partes das *startups* inovadoras que podem beneficiar a empresa e com sua infraestrutura proprietária tende a utilizar as tecnologias geradas pelas participadas na cadeia produtiva da mineradora.

Contudo, como será observado na próxima seção, as interações e parcerias não são a única maneira de desenvolver tecnologias em um ecossistema de inovação maduro. E para verificar tal premissa, será analisada a intensidade da geração de inovações em contrapartida com a adoção delas, verificando como a Vale se comporta na busca por acelerar a difusão de inovações em sua cadeia produtiva.

3.2 Esforço tecnológico da Vale: adoção ou criação de inovações?

A inovação, como já observado na seção anterior, se manifesta em vários produtos e processos da Vale e tem características similares: de redução de custos e aumento de produtividade, alinhadas às amarras dos pactos ambientais. Entretanto, foram visualizadas as interações presentes no ecossistema de inovações da empresa sem uma análise estruturada das ações internas que levam ao progresso tecnológico. Desta forma, a presente seção tem o objetivo de vislumbrar o esforço inovativo da Vale.

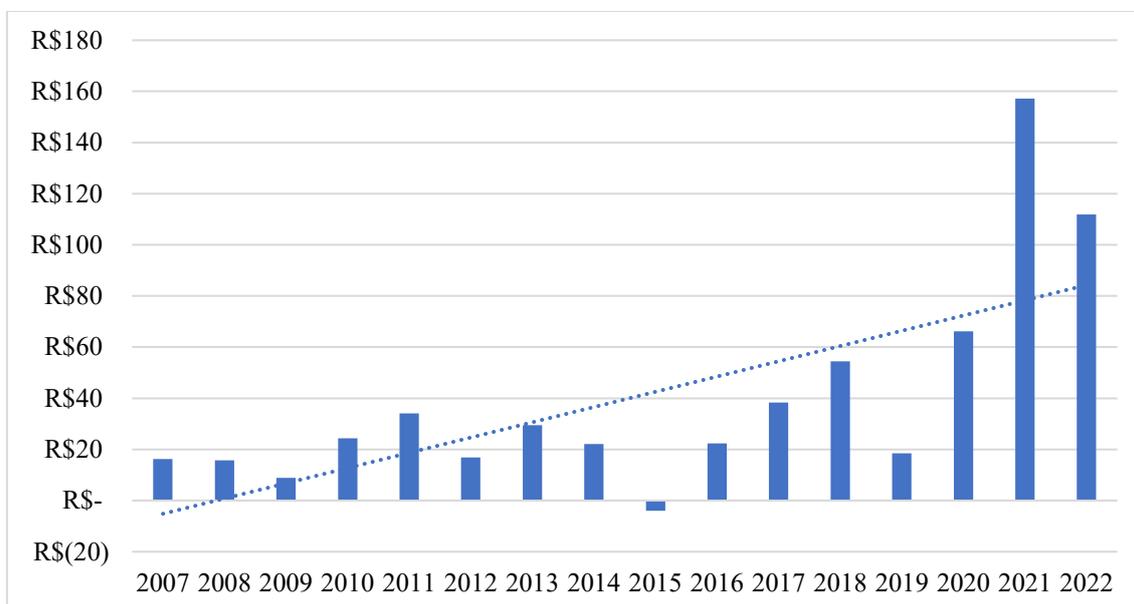
A tarefa de mensurar o esforço tecnológico de empresas pode ser derivado do indicador de intensidade inovativa de nações, utilizado pela OCDE há aproximadamente 40 anos, sendo a relação entre os gastos totais em P&D e o PIB. Para que seja possível uma análise do esforço (ou intensidade) tecnológica em nível setorial ou empresarial, a literatura aponta que o indicador é construído dividindo-se os gastos em P&D pelo valor adicionado da firma – uma *proxy* para o PIB (GALINDO-RUEDA, VERGER, 2016 *apud* BRIGANTE, 2018).

O valor adicionado representa a “riqueza” que foi gerada durante o processo produtivo em um determinado período, também designado como a variável dá origem ao lucro da empresa. Análises financeiras utilizam o valor adicionado para entender a situação operacional da firma e verificar a lucratividade e a sustentabilidade da mesma (REIS, 2018). Encontrado nos demonstrativos de resultados das empresas, o valor adicionado representa o quanto a empresa evoluiu ou regrediu em sua capacidade de gerar riqueza entre dois períodos, geralmente comparados ao ano anterior. O cálculo desse indicador leva em conta todas as receitas operacionais e não-operacionais do período (valores brutos, com impostos) e, desse

valor, são subtraídas todas as despesas operacionais do mesmo período (com ICMS e IPI), obtendo-se o valor adicionado bruto. Para se apurar o valor adicionado líquido (VAL), é necessário deduzir as retenções com depreciação, amortização e exaustão, dentre outras despesas não-operacionais (CAPITALNOW, 2019).

Como segue, o valor adicionado líquido declarado pela Vale pode ser encontrado nos relatórios financeiros anuais disponibilizados em sua plataforma digital. A série histórica encontrada refere-se ao período posterior à mudança do nome CVRD para VALE, de 2007 a 2022.

Gráfico 6: Valor adicionado líquido da Vale (2007 a 2022 - bilhões de Reais*).



Fonte: Elaboração própria com base em Vale (2023)

*Deflacionado pelo IPCA a Reais de 2022.

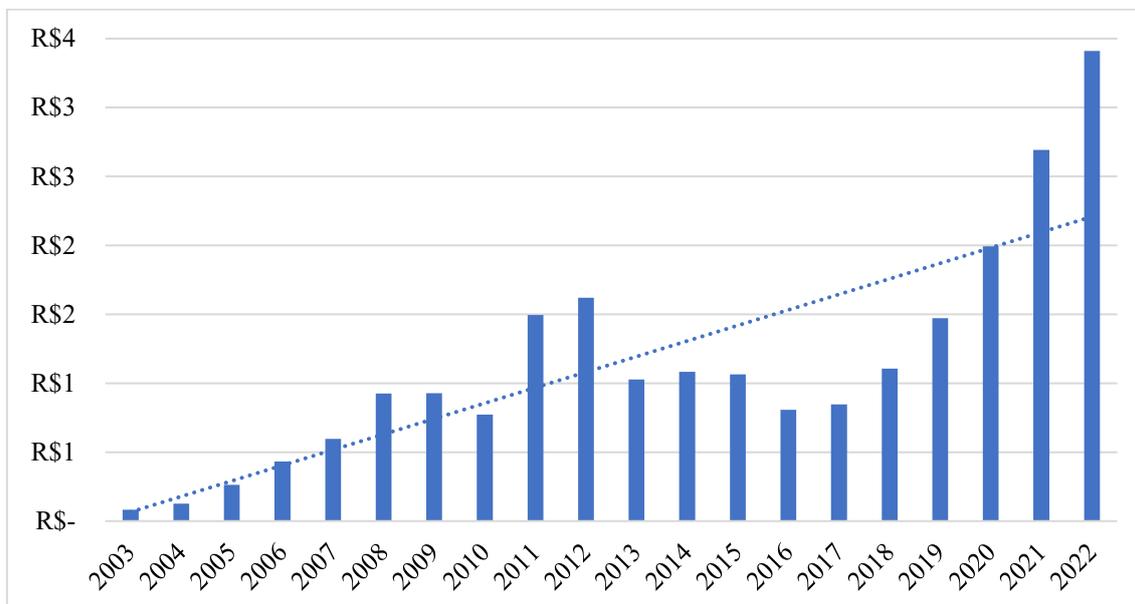
É necessário se atentar aos valores singulares na série histórica, que podem distorcer outras análises posteriores. Em 2009 é possível observar o segundo menor VAL da Vale no período analisado, sendo resultado, em parte, da crise financeira internacional de 2008 que contribuiu para a redução da demanda da Vale, resultando em menor geração de riqueza, com uma recuperação significativa em 2010. Também deve-se ressaltar que, entre 2009 e 2011, houve um investimento superior a US\$ 350 milhões na criação do Instituto Tecnológico Vale (ITV), responsável por projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (P,D&I) para toda a cadeia industrial da Vale (MELLO, 2010).

Em 2015 registrou-se um resultado negativo, demonstrando que não houve geração de riqueza no período, em outras palavras, houve destruição de riqueza no valor de R\$ 3,96 bilhões. Tal resultado tem grande influência do desastre de Mariana. Esse valor negativo tende a distorcer futuras análises, incluindo a variável de esforço tecnológico, e o ano de 2015 poderá ser considerado um *outlier* em certas observações sobre a inovação da firma.

Além disso, em geral, no período analisado a Vale conseguiu manter um balanço equilibrado no seu VAL, sendo a média do período igual a R\$ 42,44 bilhões, desconsiderando o ano singular de 2015. Com picos de geração de riqueza em 2011, 2018 e 2021, é possível observar uma série não retilínea, mas com altas crescentes, inclusive nos anos atípicos de 2020 e 2021, em que, apesar da crise mundial de COVID-19, a Vale conseguiu manter uma demanda substancial e uma consistência na produção, aferindo o maior VAL do período.

Por sua vez, os gastos com P&D são deduzidos da receita operacional líquida da empresa, tais dados foram selecionados e tabulados a partir dos relatórios de referência anuais da Vale. A série histórica obtida abrange o período de 2003 a 2022 e dizem respeito a todos os gastos que a empresa teve internalizando projetos de P&D em diferentes segmentos, incluindo, para além das pesquisas tecnológicas, pesquisas geológicas e biológicas, dentre outros.

Gráfico 7: Gastos da Vale com P&D (2003 a 2022 - bilhões de Reais*).



Fonte: Elaboração própria com base em Vale (2023)

*Deflacionado pelo IPCA a Reais de 2022.

Os investimentos em P&D pela Vale foram crescentes no período de 2003 a 2009. Porém, no período posterior, em 2010, houve uma redução nos gastos dessa rubrica. Deve-se ressaltar a criação do ITV, em 2009, em um período de relativo baixo orçamento disponibilizado pela empresa para P&D. Os incentivos foram altos em 2011 e 2012, com picos de investimento de R\$ 1,49 e R\$ 1,62 bilhão, respectivamente. Os gastos com P&D foram reduzidos em grande magnitude após 2012, sofrendo os efeitos do fato relevante de Mariana em 2015. A recuperação observada nos anos subsequentes pode ser resultado de uma busca da empresa por retratação na forma de investimentos crescentes em pesquisas biológicas, geológicas, estruturais, de segurança e prevenção de desastres industriais, além dos pactos ambientais de eletrificação de frotas, redução de emissão de CO2 e automação de operações de risco.

Como exemplo, em 2021 a Vale começou a operar com caminhões fora de estrada autônomos no complexo Carajás (PA). Os testes com esse tipo de tecnologia já estavam sendo realizados desde 2019 e, apenas em 2021, seis caminhões autônomos foram inseridos na operação, com capacidade de transportar 320 toneladas. A empresa, desde 2016, ano que marca o início da escalada de gastos com P&D, já utilizava a tecnologia de automação de máquinas na mina de Brucutu¹⁶ (MG), que atualmente tem toda a frota automatizada, e simultaneamente ao início da operação autônoma em Carajás, já tinha 13 caminhões fora de estrada operando com essa tecnologia. A implementação dessa tecnologia é analisada pela Vale como um método para obter maior produtividade, segurança e sustentabilidade, visto que as projeções simulam uma redução de 5% no consumo de combustível, um aumento em 7% da vida útil dos equipamentos, também reduzindo a geração de resíduos, como peças e lubrificantes, além da redução do desgaste de pneus na ordem dos 25% e dos custos com manutenção em 3% (BRASILMINERAL, 2021).

“Os caminhões autônomos são controlados por sistemas de computador, GPS, radares e inteligência artificial, percorrendo a rota entre a frente de lavra e a área de descarga. Ao detectar riscos, os equipamentos paralisam suas operações até que o caminho volte a ser liberado. Os sensores do sistema de segurança são capazes de detectar tanto objetos de maior porte, como grandes rochas e outros caminhões, até seres humanos que estejam nas imediações da via. Com isso, situações de risco, como tombamento e colisão, foram eliminadas” (BRASIL MINERAL, p. 1, 2021).

¹⁶ De acordo com o Vale ESG Webinar Risk Management de 2021 a mina de Brucutu tem toda a frota de caminhões fora de estrada autônomos (VALE, 2021).

Entretanto, o progresso tecnológico da empresa se mostra gradual, e não acelerado, assim como afirma Mesquita *et al.* (2016) sobre a indústria de mineração, a Vale tende a incorporar tecnologias incrementais buscando maior eficiência produtiva. Desse modo, os caminhões em operação nas várias minas da Vale, mesmo que permanentemente, estão sendo testados para verificar a inserção de caminhões elétricos maiores, que consigam ter impacto na meta de descarbonização e na lucratividade da empresa – via redução drástica de combustíveis. A grande maioria dos caminhões fora de estrada elétricos são de 72 toneladas, sendo uma espécie de projeto piloto para a inserção de maiores quantidades dos caminhões maiores. Com isto, a Vale se antecipou no acordo com a Caterpillar, firmando um memorando de entendimento para a fornecedora produzir esses veículos elétricos de 240 a 320 toneladas, com previsão para os testes massivos ocorrerem até o final de 2023. O maior desafio, de todo modo, será a alteração da infraestrutura de abastecimento, que atualmente é voltada aos veículos a diesel, sendo uma transição crítica para operações em áreas remotas e com um custo tão alto quanto a aquisição dos equipamentos elétricos (ESTADÃO, 2022).

Os investimentos em P&D dispendidos pela Vale são, em grande parte, para incrementar as tecnologias já em andamento nas plantas de mineração, e alteram funções de empregados sem gerar desemprego. Em 2022, por exemplo, o programa de autônomos da Vale contou com um investimento de aproximadamente R\$ 210 milhões, ampliando para 86 equipamentos utilizados em quatro estados brasileiros. Por meio dessa tecnologia, cerca de 300 trabalhadores foram realocados de posições de risco para ocupações mais seguras. Neste caso, a inserção de novas tecnologias na Vale, reforçando a teoria clássica da inovação, não levou ao desemprego gerado pelo aumento de produtividade das máquinas, na verdade, gerando novos e mais seguros postos de trabalho. Em complemento a Schumpeter, a destruição de tecnologias antigas parece ter a capacidade de criar novas formas de organizações operacionais, para além das novas tecnologias (ABM, 2022).

Antes de apresentar a variável de esforço tecnológico a partir das duas variáveis citadas nesta seção e para que exista uma métrica comparativa entre a variável de esforço tecnológico faz-se necessário observar alguns dados gerais do esforço tecnológico médio da indústria de transformação brasileira. Brigante (2018) utilizou os dados da Pesquisa de Inovação (Pintec) e da Pesquisa Industrial Anual (PIA), analisando o resultado da divisão dos gastos com P&D pelo Valor da Transformação Industrial uma *proxy* para o VAL. A apuração levou em conta diferentes setores da indústria de transformação, com diferentes caracterizações de nível de intensidade tecnológica (média-alta, média-baixa e baixa).

Quadro 3: Esforço tecnológico em segmentos industriais brasileiros da indústria de transformação (2000, 2005 e 2011 - %).

Alta Intensidade Tecnológica	2000	4,46
	2005	4,05
	2011	5,79
Média-Alta	2000	3,04
	2005	3,07
	2011	3,53
Média baixa	2000	1,15
	2005	1,01
	2011	1,74
Baixa	2000	0,67
	2005	0,44
	2011	0,58
Total	2000	1,79
	2005	1,58
	2011	2,14

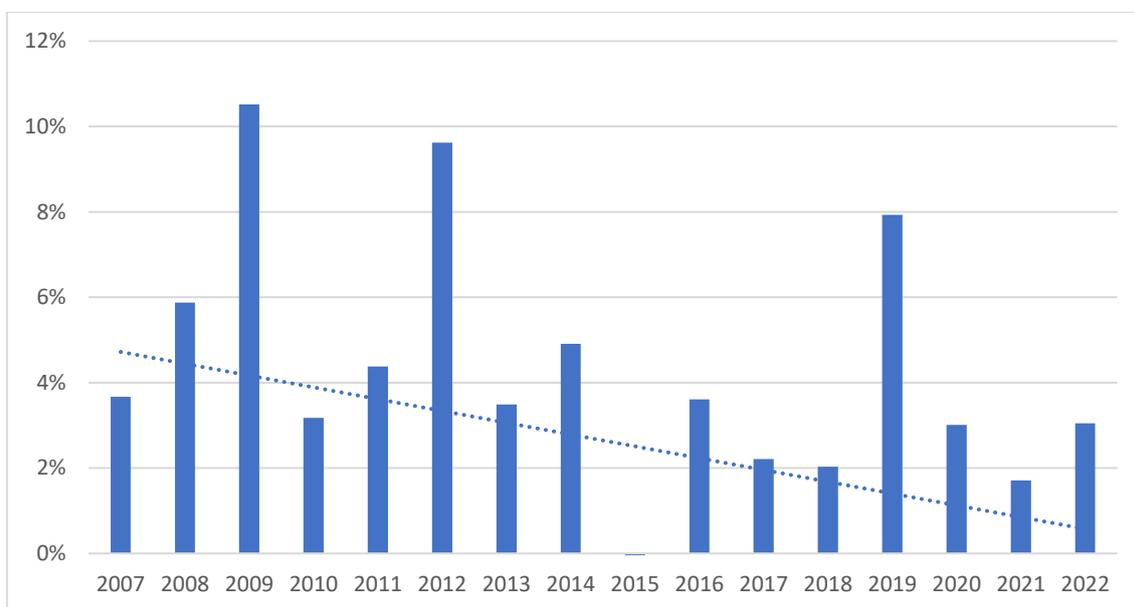
Fonte: BRIGANTE, 2018.

Entretanto, por meio da Pintec é possível obter um registro geral da indústria de transformação, complementando o Quadro 3 e o Gráfico 7. Como exemplo, a Pintec 2017, última pesquisa anual divulgada, registrou um valor de gastos em P&D total da indústria extrativa de cerca de R\$ 992 milhões (deflacionado pelo IPCA a Reais de 2022) que, quando comparados com o gasto da Vale no mesmo ano, demonstra que a empresa investiu 85,38% do valor da indústria extrativa brasileira em P&D em todo o mundo em 2017 – reforçando que os gastos são para as várias operações da Vale em diversos países.

Nesse resultado geral da indústria extrativa, não se deve desconsiderar a atividade inovadora da Petrobrás, outra empresa significativa do setor extrativo. Como o IBGE não divulga os resultados da indústria extrativa separado por segmentos, o que dificulta uma análise mais fiel, o economista Fernando Nogueira da Costa (DA COSTA, 2015, p. 1), a partir dos resultados das duas grandes empresas extrativas do país, Vale e Petrobrás, classifica que “o minério responde por cerca de 65% do setor extrativo, enquanto o petróleo tem peso de 35%”. Como o próprio parágrafo já afirma, a indústria extrativa não conta com informações minimamente segmentadas disponibilizadas pelos grandes institutos de pesquisas nacionais, o que torna a análise comparativa um tanto quanto rudimentar.

Considerando que o Quadro 3 representa uma análise da indústria de transformação, é importante complementá-lo com informações da indústria extrativa. Utilizando o Sistema de Contas Nacionais do IBGE de 2017 para obter o VAL e a Pintec do mesmo ano para extrair os gastos com P&D, é possível calcular a intensidade em P&D da indústria extrativa com a mesma fonte utilizada por Brigante (2018). Desta forma, como supracitado, os gastos com P&D da indústria extrativa chegaram a superar R\$ 992 milhões, enquanto que o VAL¹⁷ total do setor, a Reais de 2022, foi de R\$ 69 bilhões. Com isto, a variável de esforço inovativo do setor extrativo em 2017 foi de 1,43%. Da mesma forma, foi calculado o indicador de intensidade em P&D para a indústria de transformação em 2017, com um percentual de 6,79%¹⁸ (IBGE, 2023).

Gráfico 8: Esforço Tecnológico da Vale – relação entre P&D e VAL (2007 a 2022 - %).



Fonte: Elaboração própria com base em Vale (2023)

É importante ressaltar que, para toda série histórica, todos os valores de VAL e gastos com P&D são no âmbito mundial, envolvendo as operações em diversos países em que a Vale atua, e nessa soma são incluídos os investimentos em pesquisas biológicas e geológicas, que podem trazer um viés para a comparação. Em alguns anos o esforço em P&D superou o de setores de alta intensidade tecnológica da indústria de transformação descritos por Brigante

¹⁷ Neste caso, foi obtido subtraindo os Impostos Líquidos de Subsídios Sobre a Produção e a Importação do Valor Adicionado Bruto disponibilizado no Sistema de Contas Nacionais.

¹⁸ O valor adicionado líquido para a indústria de transformação em 2017 foi de R\$ 532.960.016.690,57, enquanto que o gasto com P&D do setor foi de R\$ 36.032.437.784,14, chegando ao indicador de esforço tecnológico de 6,76%. Vale ressaltar que a última Pintec foi realizada para o período de 2017, fazendo com que seja o último ano em que se pode executar o cálculo com resultados confiáveis e gerais.

(2018). De toda forma, é possível encontrar a média aritmética de 4,61% para o período analisado, desconsiderando o ano de 2015, que sofre distorção pelo valor adicionado líquido negativo no mesmo ano.

Para os padrões de intensidade tecnológica descritos nas revisões teórica e aplicada previamente realizadas, a variável indica o oposto do que ocorre no setor mineral, que é um baixo e lento progresso tecnológico (OLVERA, 2021), o que seria visível se o indicador estivesse abaixo da média da indústria extrativa. Entretanto, em 2017, por exemplo, o esforço tecnológico da Vale foi de 2,21%, acima dos 1,43% da indústria extrativa no mesmo período, mas bem abaixo dos 6,79% da indústria de transformação, de acordo com a Pintec 2017 – vale considerar que este foi um dos anos com o menor esforço tecnológico da Vale.

Ademais, analisando os maiores e menores valores da série histórica, o ano de 2009, como já mencionado, foi marcado por um alto investimento em P&D na criação do ITV, e em 2019 houve o início de operações relevantes na área da inovação aberta, sustentada pela Vale, que em partes justificam o alto esforço tecnológico constatado nos mesmos anos. Um outro percentual relevante ocorreu em 2012, sendo este, o segundo maior valor em esforço tecnológico do período.

Além disso, o maior valor de esforço tecnológico encontrado em 2009 não necessariamente revela o maior valor gasto com P&D. Nesse caso, o que levou a uma porcentagem tão relevante foi o baixo valor adicionado líquido do ano, mesmo que o gasto com P&D se manteve estável, em relação ao ano anterior. Já o outro valor imponente em 2012, de 9,62%, foi desencadeado, não só pela queda no valor adicionado no ano, mas, principalmente, pelo maior gasto com P&D pela empresa em todo o período analisado. Em 2019, também houve uma alta no indicador de esforço tecnológico da empresa, que foi influenciado pela queda no valor adicionado, apesar do nível estável de investimento em P&D.

Em geral, tanto para os gastos em P&D, quanto para o valor adicionado líquido e para a variável de esforço tecnológico, o acompanhamento das variáveis demonstra resultados cíclicos, como uma “serra de dente”, e sem uma série retilínea de crescimento. A linear de tendência traçada no Gráfico 8 apresenta um decréscimo do grau de esforço tecnológico para o período, o que vai contra o que se observa no comportamento dos gastos com P&D e VAL da empresa, que mantém um crescimento substancial desde o início das séries analisadas nos Gráficos 6 e 7, principalmente nos últimos três anos. A variável de esforço tecnológico pode ter um desempenho mais eficiente para comparações entre nações, setores e empresas em um determinado período, enquanto que nas análises com série histórica a confiabilidade é afetada

por dispersões de VAL e gastos com P&D comuns para grandes empresas exportadoras de *commodities*.

Contudo, se admitidas as premissas de De Souza (2007) e Mesquita *et al.* (2016) sobre o setor mineral para o caso da Vale, em que a indústria mineral tende a operar com baixa intensidade tecnológica e é sustentada por microinvenções, o montante de gastos com P&D em relação ao valor adicionado diria o contrário, já que há períodos que tal indicador da empresa é tão elevado quanto alguns setores da indústria de transformação registradas por Brigante (2018) em 2000, 2005 e 2011 e, a partir do presente estudo, em 2017.

De um ponto de vista geral, apesar de ter uma intensidade inovativa significativa, a Vale se mantém no padrão do setor mineral observado no Capítulo 2, sendo mais intenso em adquirir tecnologias de fornecedores especializados e por interações com as universidades, o que será observado nos próximos parágrafos.

Como exemplo, uma frente que a Vale tem desenvolvido é a de drones e robôs, utilizados em situações de risco ou em que trabalhadores não podem ter atuação direta, como trabalhos em altura e em espaços confinados. A Vale trabalha com três modelos principais de robôs desde 2021, dois destes, desenvolvidos internamente por meio do ITV em conjunto com universidades parceiras, a Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O outro modelo foi adquirido de uma fornecedora especializada, a Anybotics. O robô já era utilizado em outras indústrias e uma unidade foi comprada pela Vale após passar por adaptações para atuar nas operações de mineração e por uma prova de conceito, na qual o robô da Anybotics concluiu com êxito (BRASIL MINERAL, 2021).

A primeira locomotiva 100% elétrica a ser utilizada pela Vale foi desenvolvida em parceria com a Progress Rail, do grupo Caterpillar, em 2020, construída em Sete Lagoas (MG) e com baterias com capacidade de armazenamento de 1,9 MWh, expansível até 2,4 MWh, podendo operar até 24 horas sem necessidade de parar para recarregar. A fase-piloto da locomotiva EMD® Joule iniciou ainda em 2020 na unidade Tubarão, em Vitória (ES), com testes em manobras de pátio e após isto, na Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) (VALE, 2020).

A segunda locomotiva 100% elétrica foi adquirida da chinesa CRRC Zhuzhou Locomotive (CRRC ZELC) em 2022, transportada da China ao terminal Ponta da Madeira, em São Luís (MA), onde iniciou a fase-piloto assim como a locomotiva de Tubarão, operando no pátio de manobra da unidade. A locomotiva da CRRC tem baterias com capacidade de 1 MWh,

com autonomia de até 10 horas operando sem recarregar. O investimento da Vale em ambas as locomotivas faz parte do Powershift, um programa de investimentos voltado ao desafio que a Vale assumiu em 2019, de zerar suas emissões líquidas de CO₂ de escopos 1 e 2 (relativo ao consumo de energia elétrica) até 2050, e que proporciona uma parceria com as concorrentes BHP Billiton e Rio Tinto (REVISTA MINERAÇÃO, 2022; VALE, 2022).

A adoção de inovações no setor mineral não é necessariamente vinculada às necessidades apontadas e divulgadas pelas empresas. Com um amplo e complexo ecossistema de inovação, a mineração se beneficia de várias firmas de outros setores que desenvolvem soluções e oferecem às mineradoras. Por vezes, as soluções são especificamente para a mineração, como é o caso da plataforma criada pela BASF Mining Solutions em parceria com a instituição de Inteligência Artificial (IA) IntelliSense.io, que combina a experiência em processamento mineral e química de beneficiamento de minérios com a IA industrial de última geração, tendo como objetivo tornar as operações de processamento de minério mais eficientes, sustentáveis e seguras (BRASIL MINERAL, 2022).

A Vale adotou também o sistema de “gêmeos digitais” de viradores de vagões de minério no Polo Norte da empresa. Esse sistema visa a prever o comportamento de uma máquina sem gerar riscos físicos, já que o *software* simula e testa as ações do equipamento com base em câmeras e sensores em junção com o ambiente em que estão inseridos, o desgaste, a influência de temperatura, pressão e outros fatores. A Vale capturou a tecnologia de uma não divulgada empresa especializada no *software* e adaptou às necessidades da mineração, potencializando a menor exposição do funcionário ao risco e reduzindo riscos de falhas, o que possibilita uma otimização de recursos financeiros (CIMM, 2022).

Desta forma, dados os exemplos, os gastos com P&D podem ter diminuído por consequência das parcerias benéficas para a inovação da Vale. A necessidade de inovação apresentada pela firma é suprida e ofertada por empresas especializadas, fazendo com que seja mais lucrativo comprar as novas tecnologias do que gastar com o desenvolvimento interno. A partir de Moore (1993), a empresa já está em um estágio maduro e, a partir disto, os fornecedores são mais confiáveis e presentes no desenvolvimento tecnológico da empresa.

Como observado na seção anterior, nos parágrafos acima e nos registros a respeito dos caminhões fora de estrada, as principais tecnologias de eletrificação e automação foram obtidas por meio de parcerias explícitas e aquisições de fornecedores, não sendo frutos de P&D de instituições internas da Vale.

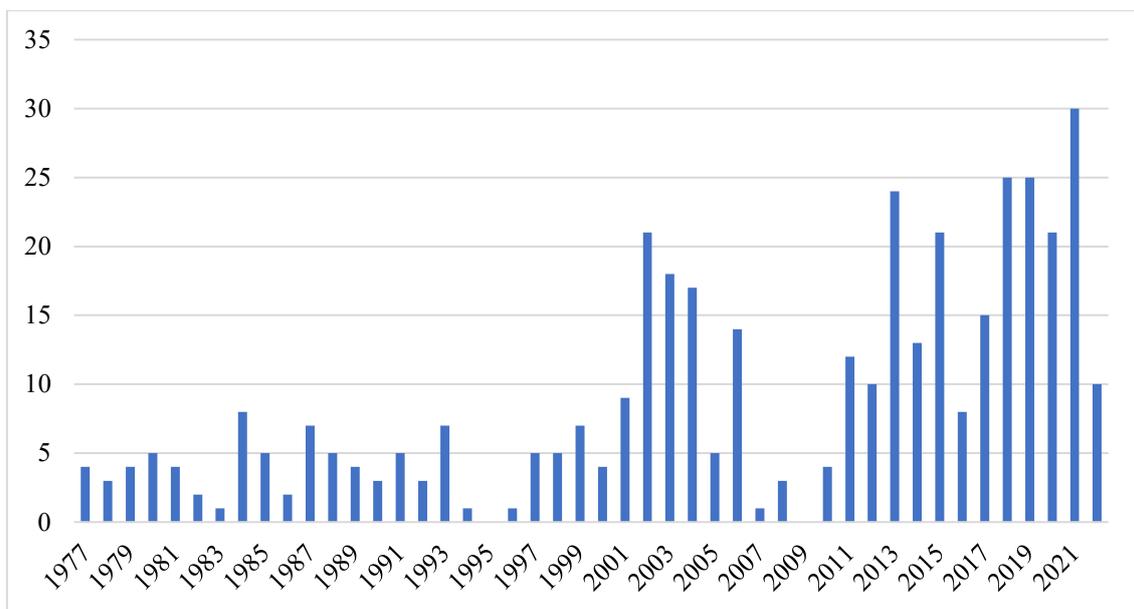
3.2.1 A respeito das patentes

Em outra ótica, analisado o dispêndio em P&D, a partir de Archibugi e Pianta (1992), é possível subdividir as atividades inovativas das firmas em “Produtos, Processos e Inovações” indicados pelo nível de pesquisas de inovação, e “Atividade de Patenteamento” constituída pelos dados de patentes. Desse modo, a literatura exhibe que níveis de crescimento da empresa associados ao dispêndio em P&D e pesquisas podem indicar o grau de esforço que a firma tem em busca de progresso tecnológico, enquanto que o número de patentes aponta os resultados obtidos. Neste cenário, não será incluída a densidade de atores e recursos no ecossistema da empresa, visto que a abordagem que considera a interação entre os atores dos ecossistemas de inovação um indicador de esforço inovativo estão contempladas nas seções 1 e 3 deste capítulo.

Apesar de serem analisados os registros de patentes como uma atividade, tão somente, da empresa, no Capítulo 1 foram elencadas três subdinâmicas para a geração de patentes em um ecossistema de inovação a partir de Leydesdorff (2012), em suma: crescimento econômico, novidades tecnológicas e a interação entre as duas anteriores, tanto para a formulação de políticas pelo poder público quanto para a gestão na esfera privada, desta forma, incluindo mais de um ator responsável pela geração de patentes.

Pela ótica brasileira, o Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) é o órgão responsável pela concessão e registro de patentes no país. As patentes são concedidas pelo INPI após análise do pedido e verificação de que o produto, processo ou tecnologia é inovador e atende aos requisitos legais. A ferramenta de busca disponibilizada pelo INPI permite uma pesquisa detalhada dos registros já realizados, inclusive ao nível de Cadastro Nacional da Pessoa Jurídica (CNPJ), que foi o método mais assertivo para selecionar as patentes da Vale S.A. Como segue:

Gráfico 9: Quantidade de Patentes depositadas no INPI pela Vale anualmente (1977 a 2022).



Fonte: Elaboração própria com base em INPI (2023)

Foram registradas 401 patentes com o CNPJ da Vale, o que inclui a CVRD, visto que os registros ocorrem desde 1977. Apesar de uma intensidade de depósitos crescente a partir de 2000, a Vale só passou a ter uma consistência de geração de patentes após 2010, início de operação do ITV, indicando que após a criação desta instituição com foco em CT&I, a empresa passou a inovar com mais intensidade. Os tipos de patentes mais frequentes no relatório gerado são: Patentes de "processo" (95), Patentes de "dispositivo" (88), Patentes de "método" (63), Patentes de "sistema" (52) e Patentes de "equipamento" (19), sendo as demais, muito específicas.

Por outro lado, o Banco de dados da Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO) permite a pesquisa de patentes de empresas em todo o mundo. Ao todo, tendo como requerente a Vale S.A., foram encontradas 784 patentes cadastradas entre 2014 e 2023 (WIPO, 2023). As patentes foram seccionadas pela Classificação Internacional de Patentes (IPC), utilizada para organizar as informações referentes às patentes em todo o mundo, de acordo com o WIPO (2023), sendo:

- 273 patentes C22B: Processos de refinação de metais, incluindo extração e purificação de metais.
- 49 patentes G01V: Geofísica, que inclui a detecção, análise e interpretação de dados geofísicos para fins de exploração de recursos naturais, avaliação de riscos ambientais, mapeamento geológico, entre outros.

- 45 patentes B03D: Separação sólido-líquido, incluindo processos de filtração, sedimentação e centrifugação.
- 43 patentes B65G: Transporte, armazenamento e manuseio de materiais, incluindo sistemas de transporte e dispositivos de elevação e movimentação de cargas.
- 33 patentes C02F: Tratamento de água, incluindo processos de purificação, desinfecção e remoção de poluentes.
- 23 patentes C01B: Processos químicos ou físicos para produzir substâncias inorgânicas, como síntese de gases, compostos inorgânicos e materiais semicondutores.
- 22 patentes B03C: Separação sólido-sólido, incluindo processos de peneiramento, classificação e separação magnética.
- 22 patentes F16F: Elementos elásticos ou amortecedores de vibrações, incluindo sistemas de suspensão, isolamento de vibrações e amortecedores de choque.
- 21 patentes E21C: Mineração ou escavação de superfície ou subterrânea, incluindo equipamentos e processos para extração de minérios e materiais de construção.
- 18 patentes G01R: Medição elétrica, incluindo medição de grandezas elétricas, detecção de falhas em circuitos elétricos e medição de propriedades eletromagnéticas.

Grande parte das inovações da Vale é de processos e métodos, a base do progresso técnico e tecnológico clássico, podendo ser resultado do *learning by doing* e do *learning by using*, como observado por Rody (2021). Outrossim, De Souza (2007) já ressalta a capacidade de o setor mineral incorporar tecnologias a ponto de gerar um aperfeiçoamento cumulativo, gerando tecnologias bem diferentes das originais, se adaptando e resultando em produtividade.

Com isto, de acordo com os dados do INPI, 39% das patentes registradas estão relacionadas aos processos e métodos, enquanto que 61% são equipamentos, dispositivos e outros mecanismos mais específicos, consideradas inovações tecnológicas envolvidas diretamente com mineração e geologia.

De toda forma, a Vale consegue patentear um nível substancial de técnicas e tecnologias todos os anos desde 2000, que contribuem para a consolidação da inovação interna da firma, registrando 54% das patentes do INPI após a criação do ITV, entre 2009 e 2022, sendo que o início da série histórica é 1977.

Apesar da quantidade de registros serem razoáveis para uma empresa da indústria extrativa, a Vale é uma mineradora que, de acordo com Olvera (2021), faz parte de um setor que é especializado em adotar inovações. Puramente a título de exemplo, em 2022 Samsung

teve 6.248 patentes conquistadas, enquanto a IBM ficou em segundo lugar com 4.389 (FORBES, 2023), ambas empresas de setores altamente intensos em tecnologia e, ao contrário da Vale, especialistas em gerar inovações. Dessa forma, como o foco das mineradoras é a extração eficiente e a venda para a indústria de transformação, faz sentido a Vale ter um foco em patentes de processos e em tecnologias que geram maior produtividade às operações já em andamento (caminhões elétricos, correias, drones, robôs *etc.*) que, por estratégia eficiente, são alinhadas perfeitamente às metas ambientais de eletrificação e redução de emissões de gases de efeito estufa adotadas nos últimos anos. Além disso, a partir do BRGAAP¹⁹ da Vale, foi relatado que os gastos com P&D correspondem a 15,61% dos gastos com fornecedores e empreiteiros, evidenciando a maior propensão da empresa a adquirir produtos e maquinários de fornecedores, para além do que já fora observado na primeira seção deste capítulo, reforçando a importância dos ecossistemas de inovações para o desenvolvimento tecnológico da Vale.

Com isto, na próxima seção será apresentada e analisada a inovação aberta em que a Vale se insere, com ênfase nos desafios de inovação, buscando compreender os resultados das interações do ecossistema de inovações da empresa com o método mais atual e eficiente de capturar tecnologias específicas à mineração com um custo mais reduzido, denominado *open innovation* por Chesbrough (2003).

3.3 Projetos de inovação aberta

Apesar da Vale deixar explícita a interação com um ecossistema de inovação por meio de “lives, co-labs, benchmarks, apoio em eventos de inovação, participação em associações, hubs, federações e entidades de inovação” (VALE, 2023, p. 1), não fica claro quais os programas de inovação aberta, qual a participação da Vale nestes e quais os benefícios registrados destas ações, o que será analisado na presente seção.

Como visto no Capítulo 1, a inovação aberta é um conceito que se refere à prática de buscar ideias e soluções fora dos limites de uma organização, colaborando com outras empresas, universidades, *startups* e comunidades para desenvolver novos produtos, serviços ou processos. Trata-se de um complemento às teorias de Ecossistemas de Inovação e Hélice Tripla.

O primeiro projeto de inovação aberta divulgado pela Vale ocorreu em 2019, o “*Mining Innovation for a New Environment*” (MINE), que foi organizado pela Vale em parceria com o SENAI CIMATEC e tendo como instituições colaboradoras o Massachusetts Institute of Technology (MIT), pesquisadores independentes do Imperial College London por meio do

¹⁹ BRGAAP é uma sigla que significa "Brazilian Generally Accepted Accounting Principles", ou Princípios Contábeis Geralmente Aceitos no Brasil, em português.

Imperial Consultants e a empresa de inovação aberta The Bakery. O MINE foi composto por cursos e projetos que buscavam desenvolver soluções inovadoras no ambiente industrial da mineração e da siderurgia (FUNDACRED, 2019). A segunda edição do programa, que ocorreu em 2021, MINE 2.0, contou com os mesmos parceiros da primeira edição e com uma organização mais eficiente. Foram dez desafios reais que os participantes resolveram, nos temas de descarbonização, economia circular, e saúde e segurança, o que teria auxiliado a Vale a solucionar problemas estratégicos da empresa (VALE, 2021).

Outro desafio lançado pela Vale foi o “*Conecta Challenge*”, em 2020, abrindo um chamado a *startups*, universidades e instituições de pesquisa para prover infraestrutura e distribuição de rede em viagens de trem, com foco nas duas ferrovias que operam no país, a Estrada de Ferro Carajás (EFC), que liga São Luís (MA) a Parauapebas (PA); e a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), que vai de Vila Velha (ES) a Belo Horizonte. “O objetivo é promover a inclusão digital dos passageiros que utilizam o serviço” e de comunidades mais remotas (IBRAM, 2020, p. 1; VALE, 2020).

A Vale também promoveu desafios de inovação aberta em parcerias com outras instituições organizadoras, como foi o caso da FIEMG LAB, um *Hub* de inovação aberta entre *startups* e indústrias do Brasil e com mais de 3.000 horas de inovação e 101 indústrias envolvidas em seus diversos projetos. A Vale, como parceira da instituição, já desenvolveu desafios específicos para a empresa, o “Vale Challenge FIEMG LAB” que contou com duas edições até 2023. A primeira edição, em 2020, foi para a resolução de dois desafios existentes na empresa: “Detecção de não britáveis e Matação” e “Monitoramento e Redução de Ruídos” (FIEMG LAB, 2020). A segunda edição, em 2022, apresentou mais dois desafios: “como diminuir e monitorar a contaminação dos óleos?” e “quantificar o impacto das propriedades do produto na composição de seu peso”. Os desafios fizeram com que a Vale tivesse acesso a uma ampla variedade de instituições por meio da FIEMG LAB, ampliando a gama de possíveis inovações de processos com um custo bem inferior ao que teria no caso de investimento em P&D internamente (FIEMG LAB, 2022).

A Vale participou de uma rodada de inovação aberta organizada pelo FINDESLAB em 2022, que conecta desafios de grandes empresas a propostas de solução de *startup*. A edição da Vale contemplou três desafios: “Redução da camada de forramento dos fornos das usinas de pelletização”, “Saneamento Vegetal Inteligente” e “Produtividade de pátios e terminais ferroviários” (FINDESLAB, 2022). O programa que englobou este desafio foi o “Programa Findeslab de Empreendedorismo Industrial”, em que R\$ 6 milhões estão sendo mobilizados

para financiar o desenvolvimento das soluções selecionadas. Importante ressaltar que o desafio ainda está ocorrendo em 2023, já que passa pelas fases de seleção, conceito, desenvolvimento, validação e monitoramento. Além disso, 50% do valor supracitado é aportado pela empresa que apresenta os desafios e cada projeto selecionado terá mais um aporte de:

“até R\$ 220 mil em recursos financeiros, aportados por meio do edital, para serem desenvolvidos. Durante um ano, elas terão acesso à rede de mentores e especialistas para apoio no desenvolvimento do projeto, além de acesso ao coworking e apoio dos laboratórios do Findeslab. O Instituto Senai de Tecnologia (IST) em Eficiência Operacional atuará em conjunto às *startups* para concepção e desenvolvimento de protótipos” (FINDESLAB, 2022).

Como descrito por Etzkowitz e Zhou (2017), as universidades passaram a ter uma relevância significativa na inovação, superando a contribuição do governo para o desenvolvimento tecnológico. Além disso, as organizações híbridas, passaram a ser mais presentes, como o já citado Mining Hub (MH), que reúne e gere a maior rede de inovação aberta voltada à cadeia de mineração brasileira. A grande parte dos projetos de inovação aberta que a Vale se insere foram organizados pelo MH, que proporcionou uma interação com centenas de atores com o objetivo de inovar em algum aspecto da produção mineral. Em números, o MH tem um histórico até 2023 de 1622 inscrições realizadas, 126 provas de conceito (POC) realizadas, 26 contratos pós POC, 22 mineradoras associadas, 15 fornecedores associados e 17 *startups* contratadas. Os principais programas já organizados foram o M-Spot e o M-Start, o Quadro 4 reúne a participação da Vale nestes:

Quadro 4: Resultados dos programas M-Spot e M-Start e Participação Vale

	Desafios levantados	Soluções inscritas	<i>Startups</i> selecionadas	<i>Startups</i> contratadas	Participação da VALE
M-SPOT Ciclo 1 (2020 a 2021)	70	191	14	2	15 desafios patrocinados e 2 <i>startups</i> contratadas
M-SPOT Ciclo 2 (2020 a 2021)	104	188	16	0	16 desafios patrocinados
M-START Ciclo 1 (2018 a 2019)	58	100	10	3	3 desafios patrocinados e 1 <i>startup</i> contratada
M-START Ciclo 2 (2019)	43	70	6	5	5 desafios patrocinados e 1 <i>startup</i> contratada
M-START Ciclo 3 (2019 a 2020)	100	134	6	4	2 desafios patrocinados
M-START Ciclo 4 (2020)	83	198	13	6	3 desafios patrocinados
M-START Ciclo 5 (2020 a 2021)	130	157	14	0	1 desafio patrocinado
M-START Ciclo 6 (2021)	55	144	10	0	3 desafios patrocinados
M-START Ciclo 7 (2021 a 2022)	56	120	9	0	2 desafios patrocinados
M-START Ciclo 8 (2021 a 2022)	42	110	9	0	2 desafios patrocinados
M-START Ciclo 9 (2022 a 2023)	66	120	13	0	1 desafio patrocinado

Fonte: Mining Hub, 2023.

Os projetos reuniram uma grande quantidade de atores ao longo dos anos e, apesar de terem sido apenas quatro *startups* contratadas pela Vale, as soluções e ideias inovadoras proporcionadas pelos desafios podem ser utilizadas em diversas indústrias e, inclusive, posteriormente adotadas pelas grandes mineradoras. Além disso, dezenas de países fizeram parte dos desafios, ampliando o ecossistema para uma escala global, com *startups* de todos os continentes, exceto África. O modelo de ecossistema de inovação observado nas interações com o MH é descrito por Zahra e Nambisam (2012, p. 222) como um “*Creative Bazaar Model*”, em que “uma empresa dominante compra inovação em um bazar global de novas ideias, produtos e tecnologias. Em seguida, usa sua infraestrutura proprietária para construir essas ideias e comercializá-las”. Interessante mencionar que o MH se utiliza da plataforma descrita acima

elencando empresas dominantes para lançar suas necessidades tecnológicas, mas com uma interação com a Hélice Tripla, visto que todos os tipos de instituições podem participar, inclusive centros de pesquisa do governo e universidades públicas e particulares, e ainda é apoiada pelo SENAI²⁰, de cunho sindical, pelo IBRAM²¹, instituição privada e sem fins lucrativos que incentiva o desenvolvimento da indústria mineral no Brasil – os últimos, elencados para demonstrar a variedade de atores.

Assim como Lundvall e Rikap (2022) descrevem, as empresas não inovam sozinhas. As interações são importantes para o desenvolvimento inovativo das indústrias, e a Vale sugere ter uma prática do *leaning by interacting* intensa, já que as interações levam a maiores níveis de produtividade e aprendizado utilizados nas minas, mesmo que por adoção de tecnologias alheias adaptadas às necessidades da mineração. A inovação aberta passou a ser uma importante frente de desenvolvimento tecnológico da Vale a partir de 2018, antes disso, não há registro de projetos semelhantes. Entretanto, conforme Quadro 4, a participação da empresa diminuiu consideravelmente ao longo dos anos, inclusive, não participando e não sendo empresa líder no Ciclo 3 do M-Spot, em 2022, enquanto tinha sido a única participante nos ciclos anteriores.

Por outro lado, os ecossistemas de inovações da Vale, como já mencionado anteriormente, interagem com concorrentes na busca por inovação, como foi o caso do “Charge On Innovation Challenge”²², lançado pela Vale, BHP e Rio Tinto, em 2021, juntamente com mais 17 mineradoras (VALE, 2022). O desafio realizado em 2022, permitiu a interação da Vale com concorrentes, fornecedores, universidades, empreendedores diversos, dentre outros, chegando a ter inscrições de mais de 350 empresas de 19 setores, e mais 16 mineradoras que se juntaram ao desafio, resultando em oito ganhadores: a já mencionada ABB; Ampcontrol e Tritium; BluVein XL; DB Engineering & Consulting em parceria com Echion Technologies; Hitachi Energy; Shell Consortium; Siemens Off-board Power Supply; e 3ME BladeVolt (REVISTA MINERAÇÃO, 2022).

Além das mineradoras que lançaram o Charge On, a GHD, uma das principais empresas de consultoria do mundo, participou ativamente como organizadora do desafio e, após a seleção dos vencedores, está à frente do processo de testes das tecnologias selecionadas. O

²⁰ “O Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) é uma entidade de direito privado, sem fins lucrativos, vinculado ao sistema sindical” (SENAI, 2023, p. 1)

²¹ “O IBRAM trabalha para fortalecer as relações entre mineradoras e os diversos públicos, como seus profissionais e fornecedores, o governo e a sociedade. Age também para conectar o setor. Incentiva a inovação, difunde conhecimento, fomenta e dissemina boas práticas e articula oportunidades de negócio e de desenvolvimento para a indústria mineral” (IBRAM, 2023, p.1)

²² O “Desafio Charge On” consiste em um desafio realizado a empreendedores capazes de desenvolver soluções de eletrificação de grandes máquinas utilizadas em plantas de mineração (VALE, 2022).

Charge On se mostrou um desafio de grande magnitude, abrangendo todo o globo e com vencedores sediados na Austrália, Suíça, Japão, Dinamarca, Cingapura, Reino Unido e EUA, com o objetivo mútuo de proporcionar soluções tecnológicas para acelerar o carregamento seguro de baterias para futuros caminhões fora de estrada elétricos (REVISTA MINERAÇÃO, 2022).

Outros desafios foram realizados pela Vale com um enfoque maior em estratégias ESG (sigla em inglês para “ambiental, social e governança”). Por exemplo, por meio do Fundo Vale e da Reserva Natural Vale²³, a empresa lançou o Desafio Agroflorestral, em 2020. A iniciativa, apesar de acionar um ecossistema de inovação e ter o modo de operação de uma inovação aberta, teve um enfoque em fomentar e fortalecer o ecossistema de negócios florestais buscando empresas, instituições, *startups* ou projetos com soluções inovadoras nas áreas de logística, novos produtos, novos modelos de negócios, comercialização, processo produtivo e instrumentos financeiros especificamente para o sistema agroflorestral (DESAFIO AGROFLORESTAL, 2020), não sendo uma iniciativa com o claro intuito de desenvolvimento tecnológico.

Outro desafio que acionou a inovação aberta pela Vale foi o “Desafio COVID-19”, que também não tinha o objetivo de acelerar o progresso tecnológico da empresa, mas foi iniciado em um momento de crise mundial para escalar soluções para o combate do Covid-19, em 2020. O ecossistema de inovação da empresa se mostrou muito eficiente, visto que foram cadastradas mais de 1.450 soluções por empresas, *startups*, instituições, universidades e até mesmo profissionais individuais nas temáticas de "Prevenção e rastreamento de risco", "Triagem e Diagnóstico", "Monitoramento e Acompanhamento de pacientes" e “Cuidados intensivos” (IBRAM, 2020, p. 1).

Desta forma, organizações híbridas, geralmente ligadas às universidades, fizeram a conexão dos ecossistemas de inovação da Vale com diversos objetivos diferentes, ligados tanto ao ESG, quanto ao desenvolvimento de técnicas e tecnologias específicas à mineração e geologia. Apesar de existir uma interação com governo por meio de instituições híbridas, geralmente centros de P&D e universidades públicas, a real e direta ligação da indústria com o governo se mostra bem fraca no caso da inovação aberta. Entretanto, a relação da Vale com

²³ “O Fundo Vale é uma associação sem fins lucrativos criada pela Vale para promover o desenvolvimento sustentável ao induzir, conectar ou multiplicar soluções transformadoras para as sociedades, mercados e meio ambiente. A Reserva Natural Vale é uma área protegida privada que tem como objetivo contribuir com a conservação e restauração da Mata Atlântica por meio de produção de conhecimento, promoção da pesquisa científica e conscientização ambiental. Com 43 anos de existência, preserva uma área de 23 mil hectares no norte do estado do Espírito Santo, entre os municípios de Linhares, Sooretama e Jaguaré” (DESAFIO AGROFLORESTAL, 2020).

intermediadoras, concorrentes, complementadoras, empresas diversas e universidades é frequente e intensa, vide, também, primeira e segunda seções do presente capítulo.

De modo geral, os ecossistemas de inovação da Vale, em contraste com todo o setor mineral/extrativo, têm muitas ações voltadas à inovação, mesmo que sendo mais dependente de interações para que exista progresso tecnológico substancial. A inovação aberta está sendo explorada, entretanto, não se compara às ações de empresas de alta intensidade inovativa, principalmente pelo fato de que a maioria dos projetos relatados estavam relacionados às inovações incrementais, de aumento de produtividade das minas. Em suma, os ecossistemas de inovação da Vale são amplos e maduros, trazendo benefícios diretos para a produção da empresa e para o alcance das metas ambientais, mesmo que o esforço inovativo não seja tão intenso, visto que as inovações tendem a ser adquiridas de fornecedores especializados e o gasto com P&D é mais intenso no ITV, que está mais relacionado à produção científica, e não ao desenvolvimento tecnológico e inovativo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo como anteparo as teorias clássicas de inovação, compreende-se que o aparato ecossistêmico é mais eficiente para entender a inovação nos moldes da atualidade, com a modernização da alta conectividade e maior quantidade de interações. A Hélice Tripla, por exemplo, é uma defesa de como a interação entre atores gerou instituições que não existiam nos primórdios do desenvolvimento do conceito de inovação, como as organizações híbridas. Da mesma forma, a *open innovation* abrange estratégias incorporadas pelos ecossistemas de inovação que são, primordialmente, modernas e eficazes, o que não era previsto nos estudos anteriores a 1990.

Com isto, o presente trabalho examinou o padrão de inovação adotado pela mineradora Vale sob a perspectiva das teorias de ecossistemas de inovação, considerando também as teorias clássicas a respeito do progresso tecnológico. Com uma base teórica ampla que remonta a Smith, Ricardo e Schumpeter, foi possível acompanhar a evolução conceitual que resultou nos ecossistemas de inovação, assim como as teorias complementares que auxiliam a aplicação do conceito fundamental do estudo.

A pesquisa mostrou a alta importância relativa que a Vale tem na economia mundial, sendo uma empresa de grande magnitude produtiva no cenário nacional e com uma trajetória inovativa bem semelhante ao relatado nos estudos da inovação aplicados à mineração. Entretanto, os últimos oito anos foram mais intensos em processos inovativos, alterando o padrão de fornecedores para instituições mais inovadoras, se inserindo em mais projetos de inovação aberta e ampliando a atividade do Instituto Tecnológico Vale (ITV).

Os ecossistemas de inovação da Vale foram moldados, a partir de 2015, para atenderem às demandas dos pactos ambientais realizados. O foco passou a ser redução de custos por meio da automação e eletrificação de máquinas e equipamentos e, o que revelam as constatações, nenhuma tecnologia disruptiva foi adotada. O desenvolvimento tecnológico da empresa se manteve no padrão incremental, alterando minimamente o modo de produção e utilizando tecnologias já existentes e em uso em outras indústrias, como por exemplo os veículos elétricos e com tecnologia de automação, drones, robôs e correias de transporte. De qualquer forma, a empresa passa por um período de transição, se adequando às novas tecnologias existentes e inovando lenta e incrementalmente.

Todas as inovações mais robustas presentes na Vale foram adquiridas do seu ecossistema de inovação, por meio de fornecedores e empresas parceiras. Dessa forma, o

ecossistema de inovações da empresa é significativamente intenso em interações, mas com pouco resultado em inovações disruptivas. Entretanto, o que compensa a falta de inovações disruptivas é a quantidade de inovações incrementais existentes e a abundância de interações que a Vale se engajaa, inclusive com rivais, siderúrgicas e metalúrgicas, universidades, dentre outras.

Apesar de o indicador de esforço inovativo (relação entre os gastos com P&D e o valor adicionado) ter demonstrado resultados superiores ao esperado para uma indústria extrativa, o acompanhamento de série histórica não é efetivo, sendo impactado pelos resultados instáveis de valor adicionado bem presente na indústria extrativa, enquanto que os gastos com P&D permanecem crescentes. Uma forma mais eficaz de utilizar o indicador pode ser por comparação com *benchmarks*, desconsiderando uma série histórica longa e comparando os resultados de empresas semelhantes apenas em períodos específicos.

Contudo, considerando o conceito de Zahra e Nambisan (2012), a Vale tem um comportamento mais próximo ao modelo “*Orchestra*”, principalmente pelo fato de que a empresa adota tecnologias com mais frequência e intensidade do que gera, mantendo uma demanda explícita ao ecossistema de inovação e adotando as tecnologias necessárias paulatinamente. Entretanto, a firma utiliza outros modelos de ecossistemas de inovação, o que pode mostrar um desenvolvimento positivo da intensidade de suas interações.

O “*creative bazaar*” é adotado pela empresa nas compras de partes de *startups* inovadoras e nas participações em desafios de inovação, quando se insere como compradora de novas ideias e tendo infraestrutura para colocar as inovações em uso. Por ser de um setor que adota tecnologias já existentes em outras indústrias, o “*MOD station model*” também é utilizado, visto que diversas modificações tecnológicas são criadas para atender às necessidades da mineradora.

Os ecossistemas de inovações da Vale demonstram ser bem desenvolvidos, reduzindo a necessidade de gerar inovações tecnológicas internamente. Considerando a vasta gama de atores que se colocam na posição de fornecer o que a líder do ecossistema precisar, o custo de inovar se torna menor ao que teria inovando nos próprios departamentos.

A intensidade de um ecossistema de inovação, até então, não pode ser quantificada pelos seus resultados, como é o caso da mensuração da intensidade inovativa. Entretanto, verificando a abundância de interações, o nível de envolvimento dos atores, os benefícios intangíveis e o foco da Vale neste tipo de modelo de inovação, entende-se que o ecossistema de inovações em que a Vale se insere é denso em atores, com intensas interações, voltado às

inovações incrementais e com foco em redução de custos e aumento de produtividade. Em contraponto, o que torna a hipótese do presente trabalho incompleta é que grande parte das interações inovativas da empresa visam a cumprir pactos ambientais e busca por sustentabilidade por meio da inovação.

Diferentemente das empresas que atuam em setores de alta intensidade tecnológica, a Vale é uma empresa extrativa, sendo seus principais interesses o volume de vendas e preços que elevam o lucro, que se aliam aos cortes de gastos e custos de produção, além do aumento de produtividade. Tal conjunto de resultados pode ser obtido por inovações incrementais ofertadas por um ecossistema de inovações eficiente. Com isto, não há necessidade em “sair na frente” nas inovações incrementais pelo poder de barganha que a empresa possui, que é capaz de adquirir tecnologias já existentes com facilidade. Por outro lado, as inovações disruptivas não são economicamente e estruturalmente viáveis, considerando que unidades produtivas de mineração são projetadas para durarem décadas e o custo de inová-las radicalmente seria impraticável. O fato é que, pelas observações, o ecossistema de inovações da Vale parece ser muito importante para o desenvolvimento tecnológico da empresa, dadas as demandas de uma mineradora consolidada.

À vista disso, para que próximos estudos aprofundem a discussão, a sugestão é que seja empreendida uma investigação da mensuração da intensidade dos ecossistemas de inovação. Atualmente, a classificação eficiente dos diversos modelos até então desenvolvidos é limitada pela falta de métricas essenciais. Com isto, estudos com esse objetivo podem auxiliar uma análise quantitativa, em complemento à qualitativa, para que ecossistemas de inovação possam ser categorizados e estruturados eficientemente, gerando novas possibilidades para as estratégias empresariais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABB. **Sobre a ABB**. Disponível em: <https://new.abb.com/br/empresa> Acesso em 19 mar 2023.

ABM. **Vale expande uso de autônomos e conta com 72 equipamentos operando no Brasil**. Disponível em: <https://www.abmbrasil.com.br/por/noticia/vale-expande-uso-de-autonomos-e-conta-com-72-equipamentos-operando-no-brasil>. Acesso em 26 mar 2023.

ADNER, Ron; KAPOOR, Rahul. **Value creation in innovation ecosystems: How the structure of technological interdependence affects firm performance in new technology generations**. Strategic management journal, v. 31, n. 3, p. 306-333, 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO (ANM). **Anuário Mineral Brasileiro: Principais Substâncias Metálicas**. 4. ed. Brasil: ANM, 2019. p. 1-42.

AMSTEDMAXION. **Quem somos**. Disponível em: <https://www.amstedmaxion.com.br/> Acesso em 12 mar 2023.

APELMAT. **Transporte de Material Sobre Correias Avança na Mineração**. Disponível em: <https://www.apelmat.org.br/transporte-de-material-sobre-correias-avanca-na-mineracao/> Acesso em 22 abr 2023.

ARCHIBUGI, D., & PIANTA, M. (1992). **Measuring technological change through patents and innovation surveys**. Technovation, 12(5), 451-464. Disponível em: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/0166497296000314?token=A2D3F6E66BC75C4AFDC9125DD65336319449AB3368FDAC60FE51703DC4C555E8C6CE2D30FEF66E4B85280A09221FD030&originRegion=us-east-1&originCreation=20230424010915> Acesso em 23 mar 2023.

BARRETO, Mercia Cristiley; NÓBREGA, Kleber Cavalcanti; ARAÚJO, Patrícia Silva Rebouças. **Competências Essenciais como Vantagem Competitiva: O Desafio das Micro e Pequenas Empresas (MPE'S)**. RAUnP-ISSN 1984-4204-Digital Object Identifier (DOI): <http://dx.doi.org/10.21714/raunp.>, v. 12, n. 1, p. 35-46, 2020.

BINGWEN, Zheng; HUIBO, Zhong. **Estudo Comparativo Sobre Sistemas Nacionais De Inovação Nas Economias Bric**. Revista Tempo do Mundo, v. 2, n. 2, p. 119-147, 2010.

BLOOMBERG LÍNEA. **Vale entra em venture capital com US\$ 100 milhões para investir em startups**. Disponível em: <https://www.bloomberglinea.com.br/2022/06/08/vale-entra-em-venture-capital-com-us-100-milhoes-para-investir-em-startups/> Acesso em 01 abr 2023.

BLOOMBERG. **Qiqihar Railway Rolling Stock Co Ltd**. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/profile/company/CEBZCZ:CH?leadSource=uverify%20wall> Acesso em 19 mar 2023.

BRASIL MINERAL. **Aposta em Autônomos e Robôs para aumentar a segurança das pessoas**. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/revista/415/?p=80> Acesso em 26 mar 2023.

BRASIL MINERAL. **As 200 maiores empresas brasileiras de mineração.** 2022, p. 52. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/revista/422/?p=52>. Acesso em: 3 nov. 2022.

BRASIL MINERAL. **Caminhões autônomos começam a operar em Carajás.** Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/caminhoes-autonomos-comecam-operar-em-carajas> Acesso em 26 mar 2023.

BRASIL MINERAL. **Caminhões elétricos a bateria para a Vale.** Brasil Mineral, [s.d.]. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/caminhoes-eletricos-a-bateria-para-a-vale>. Acesso em: 30 mar. 2023.

BRASIL MINERAL. **Soluções digitais para mineração com base em IA.** Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/noticias/solucoes-digitais-para-mineracao-com-base-em-ia> Acesso em 08 abr 2023.

BRIGANTE, P. C. **Análise dos indicadores de intensidade de P&D: entendendo os efeitos da estrutura industrial e dos gastos setoriais.** Disponível em: <https://www.scielo.br/j/neco/a/ZT65GSN4Px3wHdkdx4BgYzR/?lang=pt#>. Acesso em: 9 set. 2021.

BRYANT, Peter. **The case for innovation in the mining industry.** Clareo. Chicago, EUA, 2015.

BUNDESMINISTERIUM FÜR FINANZEN. **World Mining Data 2022.** Disponível em: <https://www.world-mining-data.info/wmd/downloads/PDF/WMD2022.pdf>. Acesso em: 25 out. 2022.

CAPITALNOW. **DVA: um guia sobre a Demonstração de Valor Adicionado.** Disponível em: <https://www.capitalresearch.com.br/blog/investimentos/dva-um-guia-sobre-a-demonstracao-de-valor-adicionado/>. Acesso em: 9 set. 2021.

CARMIGNANO, Ottavio Raul Domenico Riberti. **Mapeamento do Sistema de Inovação da Mineração de Minério de Ferro em Minas Gerais.** Ibram. 2021.

CATERPILLAR. **About Caterpillar.** Disponível em: <https://www.caterpillar.com/en/company.html> Acesso em 12 mar 2023.

CAVAN. **A empresa.** Disponível em: <https://www.cavan.com.br/> Acesso em 19 mar 2023.

CETEM. **Sobre o CETEM.** Disponível em: <https://www.gov.br/cetem/pt-br/acesso-a-informacao/institucional/cetem-rj-1> Acesso em 09 abr 2023.

CFI. **Mining Industry Primer: Key concepts and terms about the mining industry.** Disponível em: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/career/introduction-to-the-mining-industry/>. Acesso em: 1 nov. 2022.

CHAMINADE, Cristina; LUNDVALL, Bengt-Åke. **Science, technology, and innovation policy: Old patterns and new challenges.** In: Oxford Research Encyclopedia of Business and Management. Oxford University Press, 2019.

CIMITERRA, Martin; KRAFFT, Jackie; NESTA, Lionel. **Blockchain as Schumpeter Mark 1 or Mark 2? An empirical analysis of blockchain job offers in France and Germany.** *Industrial and Corporate Change*, v. 30, n. 6, p. 1388-1402, 2021.

CIMM. **Vale usa gêmeos digitais para otimizar operação no Polo Norte.** Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/noticias/22906-vale-usa-gemeos-digitais-otimizar-operacao-porto-norte> Acesso em 08 abr 2023.

CNM. **Entenda a CFEM (Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais).** Disponível em: <https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/ET%20Vol%205%20-%202014.%20Entenda%20a%20CFEM.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2022.

COMEX STAT. **Exportações e Importações Geral.** Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 1 nov. 2022.

COMPANIESMARKETKAP. **Market capitalization of Vale (VALE).** Disponível em: <https://companiesmarketcap.com/vale/marketcap/> Acesso em: 11 jun 2023.

CORREIAS MERCURIO. **Quem somos.** Disponível em: <https://www.correiasmercurio.com.br/quem-somos/> Acesso em 19 mar 2023.

COSTA, Achyles Barcelos da. **Teoria econômica e política de inovação.** *Revista de Economia Contemporânea*, v. 20, p. 281-307, 2016.

COUTINHO, C.; SILVA, A. **Inovação tecnológica, relação universidade-empresa e modelo teórico da Hélice Tripla.** *Blucher Education Proceedings*, v. 2, n. 1, p. 36-48, 2017.

DA COSTA. **Indústria de Transformação X Indústria Extrativa: Desindustrialização?!** Disponível em: <https://fernandonogueiracosta.wordpress.com/2015/06/15/industria-de-transformacao-x-industria-extrativa-desindustrializacao/> Acesso em 01 mai 2023.

DA CUNHA, Sieglinde Kindl; NEVES, Pedro. **Aprendizagem tecnológica e a teoria da hélice tripla: estudo de caso num APL de louças.** *RAI-Revista de Administração e Inovação*, v. 5, n. 1, p. 97-111, 2008.

DAGNINO, Renato. **A relação universidade-empresa no Brasil e o" argumento da hélice tripla".** *Revista Brasileira de Inovação*, v. 2, n. 2, p. 267-307, 2003.

DE OLIVEIRA, Gilson Batista. **Algumas considerações sobre inovação tecnológica, crescimento econômico e sistemas nacionais de inovação.** *Revista da FAE*, v. 4, n. 3, 2001.

DE SOUZA, Tânia Maria Ferreira. **O processo de mudança tecnológica na mineração do século XIX: A reconstrução histórica da cadeia de inovações.** Disponível em: <https://www.abphe.org.br/arquivos/tania-maria-ferreira-de-souza.pdf> Acesso em 7 out 2022.

DE VASCONCELOS GOMES, Leonardo Augusto et al. **Unpacking the innovation ecosystem construct: Evolution, gaps and trends.** *Technological forecasting and social change*, v. 136, p. 30-48, 2018.

DEDEHAYIR, Ozgur; MÄKINEN, Saku J.; ORTT, J. Roland. **Roles during innovation ecosystem genesis: A literature review.** *Technological Forecasting and Social Change*, v. 136, p. 18-29, 2018.

DESAFIO AGROFLORESTAL. **Queremos impulsionar o ecossistema de negócios agroflorestais que geram impactos sociais e ambientais positivos.** Disponível em: <http://desafioagroflorestal.com.br/> Acesso em 07 mai 2023.

DORIN, I., Diaconescu, C. & Topor, DI (2014). **The role of minig in national economies.** International journal of academic research in accounting, finance and management sciences, 4 (3): 155-160. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/287697429_The_Role_of_Mining_in_National_Economies. Acesso em: 8 mai. 2021

DOS SANTOS, Adriana BA; FAZION, Cíntia B.; DE MEROE, Giuliano PS. **Inovação: um estudo sobre a evolução do conceito de Schumpeter.** Caderno de Administração, v. 5, n. 1, 2011.

DOSI, Giovanni. **Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change.** Research policy, v. 11, n. 3, p. 147-162, 1982.

EPIROC. **Produtos Epiroc.** Disponível em: <https://www.epiroc.com/pt-br/products> Acesso em 19 mar 2023.

ESALQ-LOG. **Vale Substitui Caminhões por Correias Para Transporte de Minério de Ferro.** Disponível em: <https://esalqlog.esalq.usp.br/vale-substitui-caminhoes-por-correias-para-transporte-de-minerio-de-ferro> Acesso em 22 abr 2023.

ESTADÃO. **Vale e CSN testam caminhões elétricos para substituir movidos a diesel.** Disponível em: <https://www.estadao.com.br/economia/coluna-do-broad/vale-e-csn-testam-caminhoes-eletricos-para-substituir-movidos-a-diesel/> Acesso em 08 abr 2023.

ETZKOWITZ, Henry; LEYDESDORFF, Loet. **The dynamics of innovation: from National Systems and “Mode 2” to a Triple Helix of university–industry–government relations.** Research policy, v. 29, n. 2, p. 109-123, 2000.

ETZKOWITZ, Henry; ZHOU, Chunyan. **Hélice Tríplice: inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo.** 2017.

F. SHROUF, J. ORDIERES e G. MIRAGLIOTTA, "Smart factories in Industry 4.0: A review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm," 2014 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2014, pp. 697-701, doi: 10.1109/IEEM.2014.7058728.

FANK, Denise Rose Bracht; WERNKE, Rodney; ZANIN, Antônio. **Evidenciação das estratégias de legitimidade nos relatórios da administração da empresa Vale.** Management Control Review, v. 4, n. 1, p. 50-69, 2019.

FANTINATO, Marcelo. **Métodos de pesquisa.** São Paulo: USP, 2015.

FIEMG LAB. **Vale Challenge FIEMG LAB 2022.** Disponível em: <https://fiemglab.com.br/challenge/vale-2022/> Acesso em 07 mai 2023.

FIEMG LAB. **Vale Challenge FIEMG LAB.** Disponível em: <https://www.fiemglab.com.br/bkp2020/challenge/vale.htm> Acesso em 07 mai 2023.

FINDESLAB. **Desafio Vale 2022**. Disponível em: <https://findeslab.com.br/desafio-vale-2022/> Acesso em 07 mai 2023.

FINDESLAB. **Programa de empreendedorismo industrial 2022**. Disponível em: <https://findeslab.com.br/programa-de-empreendedorismo-industrial-2022> Acesso em 07 mai 2023.

FLSMIDTH. **About us**. Disponível em: <https://www.flsmidth.com/en-gb/company/about-us> Acesso em 19 mar 2023.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza. UEC, 2002. Apostila.

FORBES. **Conheça as 10 principais empresas patenteadoras de tecnologia**. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2023/01/conheca-as-10-principais-empresas-patenteadoras-de-tecnologia/> Acesso em 01 mar 2023.

FORBES. **FDC mapeia as empresas mais inovadoras do Brasil: Vale lidera**. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbes-tech/2022/11/fdc-mapeia-as-empresas-mais-inovadoras-do-brasil-vale-lidera/> Acesso em 08 abr 2023.

FREEMAN, Chris. **Economics of industrial innovation**. Routledge, 2013.

FUNDACRED. **Estão abertas inscrições para o programa MINE – Mining Innovation for a New Environment**. Disponível em: <https://www.fundacred.org.br/site/2019/10/18/estao-abertas-inscricoes-para-o-programa-mine-mining-innovation-for-a-new-environment/> Acesso em 07 mai 2023

GARSDIE, M. **Mining industry worldwide - statistics & facts**. Disponível em: https://www.statista.com/topics/1143/mining/#topicHeader__wrapper. Acesso em: 27 out. 2022.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo. **Métodos de pesquisa**. Plageder, 2009.

GHT. **Quem somos**. Disponível em: <https://www.grupoht.com.br/quem-somos/> Acesso em 19 mar 2023.

GOMES, Barbara M. M. **Inovação E Sustentabilidade No Setor De Mineração: Um Estudo De Caso De Uma Empresa Brasileira**. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/5589/3357. Acesso em: 07 de set. 2021.

GOY, LEONARDO. **Brasil tem exportação recorde de minério de ferro em 2016**. Disponível em: <https://exame.com/economia/brasil-tem-exportacao-recorde-de-minerio-de-ferro-em-2016/>. Acesso em: 3 nov. 2022.

GRANSTRAND, Ove; HOLGERSSON, Marcus. **Innovation ecosystems: A conceptual review and a new definition**. Technovation, v. 90, 2020.

HARYONO, Putra et al. **VALE SA: MARIANA, NEVER AGAIN**. Corporate Governance Case Studies, p. 497, 2021.

IBGE. **PINTEC – Pesquisa de Inovação.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/ciencia-tecnologia-e-inovacao/9141-pesquisa-de-inovacao.html?=&t=downloads> Acesso em 01 mai 2023.

IBGE. **SCN - Sistema de Contas Nacionais.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9052-sistema-de-contas-nacionais-brasil.html> Acesso em 01 mai 2023.

IBRAM. 2022. **Setor Mineral 1T22.** Disponível em: <https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2022/04/Apresentacao-Coletiva-de-Imprensa-resultados-1T22.pdf>. Acesso em: 12 out. 2022.

IBRAM. **Quem somos.** Disponível em: <https://ibram.org.br/quem-somos/> Acesso em 07 mai 2023.

IBRAM. **Vale lança desafio para encontrar soluções que levem conectividade ao Trem de Passageiros e às estações.** Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/vale-lanca-desafio-para-encontrar-solucoes-que-levem-conectividade-ao-trem-de-passageiros-e-as-estacoes/> Acesso em 07 mai 2023.

IBRAM. **Vale: Desafio Covid-19, ecossistema de inovação aberta contra o vírus.** Disponível em: <https://ibram.org.br/noticia/vale-desafio-covid-19-ecossistema-de-inovacao-aberta-contra-o-virus/> Acesso em 07 mai 2023.

INFRAROI. **Minas da Vale em MG começam a ser digitalizadas.** Disponível em: <https://infraroi.com.br/2021/10/26/minas-da-vale-em-mg-comecam-a-ser-digitalizadas/> Acesso em 26 mar 2023.

INPI. **Consulta à Base de Dados do INPI.** Disponível em: <https://busca.inpi.gov.br/pePI/jsp/patentes/PatenteSearchAvancado.jsp> Acesso em 01 mar 2023.

ITV. **Grupos de pesquisa e parcerias.** Disponível em: <https://www.itv.org/itv-mineracao/grupos-de-pesquisa-e-parcerias/#Robotica> Acesso em 2 abr 2023.

ITV. **Instituto Tecnológico Vale: há sete anos atuando para o futuro da Vale.** Disponível em: <https://www.itv.org/imprensa/vale-institute-of-technology-for-seven-years-working-for-valess-future/>. Acesso em 2 abr 2023.

ITV. **Relatório de Atividades 2019.** Disponível em: <https://www.itv.org/wp-content/uploads/2020/01/Relatorio-de-Atividades-ITV-Versao-final.pdf> Acesso em 2 abr 2023.

JACKSON, D. J. **What is an Innovation Ecosystem?** 2011.

JINKOSOLAR. **About us.** Disponível em: <https://www.jinkosolar.com/en/site/aboutus> Acesso em 19 mar 2023.

KALENOV, Oleg; KUKUSHKIN, Sergey. **Innovative Ecosystem of Mining Industry.** 2020.

KOMATSU. **About Komatsu.** Disponível em: <https://www.komatsu.com/en/about/> Acesso em 12 mar 2023.

- KON, Anita. **Ecosystemas de inovação: a natureza da inovação em serviços**. 2016.
- KUPFER, David. **Uma abordagem neo-schumpeteriana da competitividade industrial**. Ensaio FEE, v. 17, n. 1, p. 355-372, 1996.
- LA ROVERE, R. et al. **Desafios para a mensuração de Ecosystemas de Inovação e de Ecosystemas de Empreendedorismo no Brasil**. 2021.
- LEYDESDORFF, Loet. **The knowledge-based economy and the triple helix model**. arXiv preprint arXiv:1201.4553, 2012.
- LUNDEVALL, Bengt-Åke. **Product innovation and user-producer interaction**. Industrial Development Research Series 31. Aalborg, Denmark: Aalborg University. 1985. Disponível em: <https://vbn.aau.dk/ws/portalfiles/portal/7556474/user-producer.pdf> Acesso em 22 jan. 2023.
- LUNDEVALL, Bengt-Åke; RIKAP, Cecilia. **China's catching-up in artificial intelligence seen as a co-evolution of corporate and national innovation systems**. Research Policy, v. 51, n. 1, p. 104395, 2022.
- LUZ, Adão Benvido da; LINS, Fernando Antonio Freitas. **Rochas & minerais industriais: usos e especificações**. 2008.
- MARINS, Luciana Manhães. **Economia, tecnologia e inovação: da teoria da firma à gestão da inovação**. Revista Eletrônica de Ciência Administrativa, v. 6, n. 1, p. 1-14, 2007.
- MARTES, Ana Cristina Braga. **Weber e Schumpeter: a ação econômica do empreendedor**. Brazilian Journal of Political Economy, v. 30, n. 2, p. 254-270, 2010.
- MARTINS, Guilherme Silveira. **A medida de confiar é confiar sem medida? Estudo sobre o efeito da confiança na criação e na captura de valor na relação comprador-fornecedor**. 2013. Tese de Doutorado.
- MELLO, Luiz Eugênio A. M.; SEPÚLVEDA, Edgar S. **Interação academia-indústria. Relato da experiência da Vale**. 2017.
- MELLO, Luiz Eugênio. **Para pensar o futuro**. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/06/010-015-177.pdf>. Acesso em: 9 set. 2021.
- MENDONÇA, TASSO. **A importância da mineração na economia brasileira**. Disponível em: <https://diariodocomercio.com.br/opinia0/a-importancia-da-mineracao-na-economia-brasileira/>. Acesso em: 30 out. 2022.
- MESQUITA, Pedro Paulo Dias; CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de; OGANDO, Laura Duarte. **Desenvolvimento e inovação em mineração e metais**. 2016.
- MILANEZ, Bruno et al. **Buscando conexões para o desastre: poder e estratégia na rede global de produção da Vale**. Revista Eletrônica de Negócios Internacionais (Internext), v. 14, n. 3, p. 265-285, 2019.

MINING.COM. **The top 50 biggest mining companies in the world.** Disponível em: <https://www.mining.com/top-50-biggest-mining-companies/> Acesso em: 11 jun 2023.

MINING HUB. **Mining Hub em número.** Disponível em: <https://www.mhnumbers.com.br/mininghub/#/> Acesso em 07 mai 2023.

MINING HUB. **Mining Hub lança desafio de startups para soluções inovadoras em mineração.** Disponível em: <https://www.mininghub.com.br/noticias/mining-hub-lanca-desafio-de-startups-para-solucoes-inovadoras-em-mineracao/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

MINING HUB. **Quem Somos.** Disponível em: <https://www.mininghub.com.br/quem-somos/>. Acesso em: 07 de set. 2021.

MOKYR, Joel. **The Lever of Riches: Technological creativity and economic progress.** New York: Oxford University Press, 1990. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=9i1u11Y3wDIC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q=small%2C%20incremental&f=false

MORAES, Marcela Barbosa de; CAMPOS, Teodoro Malta; LIMA, Edmilson. **Modelos de desenvolvimento da inovação em pequenas e médias empresas do setor aeronáutico no Brasil e no Canadá.** Gestão & Produção, v. 26, 2019.

OH, Deog-Seong et al. **Innovation ecosystems: A critical examination.** Technovation, v. 54, p. 1-6, 2016.

OLVERA, B. C. **Innovation in mining: what are the challenges and opportunities along the value chain for Latin American suppliers?** Mineral Economics, p.1-17, 2021.

OURCROWD. **Vale COVID-19 Challenge.** Disponível em: <https://blog.ourcrowd.com/vale-covid-19-challenge/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

PAIVA, Matheus Silva de et al. **Inovação e os efeitos sobre a dinâmica de mercado: uma síntese teórica de Smith e Schumpeter.** Interações (Campo Grande), v. 19, p. 155-170, 2018.

PAVITT, K. **Sectoral Patterns of Technical Change: Towards a Taxonomy and a Theory.** Research Policy, 13, p.343-373, 1984.

PIETROBELLI, Carlo; MARIN, Anabel; OLIVARI, Jocelyn. **Innovation in mining value chains: New evidence from Latin America.** Resources Policy, v. 58, p. 1-10, 2018.

RANDON. **Negócios.** Disponível em: <https://www.randon.com.br/pt/negocios> Acesso em 19 mar 2023.

REIS, T. **DVA: Entenda o que é Demonstração do Valor Adicionado e qual a sua importância.** Disponível em: <https://www.sunos.com.br/artigos/demonstracao-valor-adicionado-dva/>. Acesso em: 9 set. 2021.

REVISTA MINERAÇÃO. **Vale e Posco assinam acordo para descarbonização na siderurgia.** Disponível em: <https://revistamineracao.com.br/2021/11/04/vale-e-posco-assinam-acordo-para-descarbonizacao-na-siderurgia/> Acesso em 26 mar 2023.

REVISTA MINERAÇÃO. **Vale, BHP e Rio Tinto divulgam vencedores de chamada global de inovação.** Disponível em: <https://revistamineracao.com.br/2022/05/12/vale-bhp-e-rio-tinto-divulgam-vencedores-de-chamada-global-de-inovacao/#:~:text=Vale%2C%20BHP%20e%20Rio%20Tinto%20divulgam%20vencedores%20de%20chamada%20global%20de%20inova%C3%A7%C3%A3o,-Por&text=Desafio%20Charge%20On%20selecionou%20oito,grande%20porte%20usados%20em%20minas>. Acesso em 27 mar 2023.

RITALA, P.; AGOURIDAS, V.; ASSIMAKOPOULOS, D.; GIES, O. **Value creation and capture mechanisms in innovation ecosystems: a comparative case study.** International Journal of Technology Management, v. 63, n. 3-4, p. 244-267, 2013.

RODY, HENRIQUE APOLINÁRIO. **Inovação no Setor de Mineração e as oportunidades para as pequenas empresas: O Caso da New Steel.** 2021.

SACHS, Paulo Fernando Tardelli. **Cadeia de valor mineral e tecnologia da informação: alinhamento estratégico como gerador de eficácia em empresas de mineração.** 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SAES, B.M.; DEL BENE, D.; NEYRA, R.; WAGNER, L.; MARTINEZ-ALIER, J. **Environmental justice and corporate social irresponsibility: the case of the mining company Vale S.A.** Ambiente & Sociedade. São Paulo, v. 24, p. 1-23, 2021

SAMARCO. **Samarco adota uso de robô para secagem de finos de minério de ferro.** Disponível em: <https://www.samarco.com/samarco-adota-uso-de-robo-para-secagem-de-finos-de-minerio-de-ferro/> Acesso em 08 abr 2023.

SCHUMPETER, Joseph Alois. (1911). **Teoria do Desenvolvimento Econômico.** São Paulo: Nova Cultural, 1997 (Coleção Os Economistas).

SENAI. **Estrutura institucional.** Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/senai/institucional/estrutura-institucional/> Acesso em 07 mai 2023.

SENAI. **Vale e Senai lançam desafio de inovação para sustentabilidade.** Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/vale-e-senai-lancam-desafio-de-inovacao-para-sustentabilidade/>. Acesso em: 30 mar. 2023.

SILVA, Glessia; DACORSO, Antonio Luiz Rocha. **Inovação aberta como uma vantagem competitiva para a micro e pequena empresa.** RAI Revista de Administração e Inovação, v. 10, n. 3, p. 251-269, 2013.

SINFERBASE. **Relatórios.** Disponível em: <http://www.sinferbase.com.br/relatorios/> Acesso em 07 mai 2023.

SISHI, M. N. **Implementation of Industry 4.0 technologies in the mining industry - a case study.** Disponível em: https://ujcontent.uj.ac.za/vital/access/manager/Index?site_name=Research%20Output. Acesso em: 8 mai. 2021.

SMITH, Adam. **A Riqueza das Nações**. Volume I, Nova Cultural, Coleção "Os Economistas", pág. 17-54, 1988.

SOTREQ. **Apresentação Institucional**. Disponível em: <https://www.sotreq.com.br/#/sobre-nos> Acesso em 12 mar 2023.

STAL, Eva; NOHARA, Jouliana Jordan; DE FREITAS CHAGAS JR, Milton. **Os conceitos da inovação aberta e o desempenho de empresas brasileiras inovadoras**. RAI Revista de Administração e Inovação, v. 11, n. 2, p. 295-320, 2014.

SUUTARINEN, T. K. (2015). **Local natural resource curse and sustainable socio-economic development in a russian mining community of kovdor**. Fennia-international journal of geography, 193(1):99-116. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/282273945_Local_natural_resource_curse_and_sustainable_socio-economic_development_in_a_Russian_mining_community_of_Kovdor. Acesso em: 8 mai. 2021.

THYSSENKRUPP. **Segmentos**. Disponível em: <https://www.thyssenkrupp-brazil.com/empresa/areas-de-negocio> Acesso em 12 mar 2023.

TIAGO, E. **Empresas e startups buscam novas soluções no setor de mineração**. Valor Econômico. 09 de set. de 2019. Disponível em: <https://valor.globo.com/empresas/noticia/2019/09/09/empresas-e-startups-buscam-novas-solucoes-no-setor-de-mineracao.ghtml>. Acesso em: 07 de set. 2021.

TIGRE, P. G. **Gestão da Inovação: a economia da tecnologia no Brasil**. Rio de Janeiro: Campus. 2006.

TIGRE, P. G. **Gestão da Inovação: a economia da tecnologia no Brasil**. Rio de Janeiro: Campus. 2006. Disponível em: <https://adm2016sjcampos.files.wordpress.com/2017/03/gestao-da-inovacao-paulo-tigre.pdf> Acesso em: 07 de set. 2021.

TOMÁS, MANUEL. **A expansão da companhia Vale do Rio Doce e a possibilidade de criação de monopólio de minério de ferro no Brasil: o caso CVRD no CADE**. 2006. Disponível em: http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/3092/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_Expans%c3%a3oCompanhiaVale.PDF. Acesso em: 30 out. 2022.

UOL. **Acordos da Vale com China incluem usina de ferro-níquel na Indonésia, além de biocarvão**. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/reuters/2023/03/29/vale-assina-acordos-na-china-para-usina-de-niquel-e-linhas-de-credito.htm> Acesso em 16 abr 2023.

VALE. **Conecta Challenge**. Disponível em: <https://www.vale.com/pt/w/conecta-challenge#desafio> Acesso em 07 mai 2023.

VALE. **Desafio de Inovação Vale**. Disponível em: <https://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/desafio-de-inovacao-vale.aspx>. Acesso em: 30 mar. 2023.

VALE. **Desafio de Inteligência Artificial.** Disponível em: <https://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/news/Paginas/desafio-inteligencia-artificial.aspx>. Acesso em: 30 mar. 2023.

VALE. **Formulário de Referência 2022.** Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/53207d1c-63b4-48f1-96b7-19869fae19fe/e6add4fe-8282-fe22-b19e-27523e836e7a?origin=1> Acesso em: 21 jan. 2023.

VALE. **Integrated Report 2021.** Disponível em https://vale.com/documents/44618/2643141/Vale_Integrated_Report_2021_EN.pdf/e49a39b7-6ecf-955b-319b-382630ae3753?version=1.1&t=1671196910238 Acesso em 2 abr 2023.

VALE. **Relatório 20-F 2021.** 2022. Disponível em: <https://api.mziq.com/mzfilemanager/v2/d/53207d1c-63b4-48f1-96b7-19869fae19fe/102c9ca4-dea3-7079-6576-38d6a6d8917b?origin=1>. Acesso em: 30 out. 2022.

VALE. **Sobre a Vale.** Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/aboutvale/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 1 nov. 2022.

VALE. **Vale amplia teste de locomotivas 100% elétricas.** 2022. Disponível em: <https://www.vale.com/pt/w/vale-amplia-teste-de-locomotivas-100-eletricas> Acesso em 27 mar 2023.

VALE. **Vale aplica tecnologias inovadoras no Projeto S11D.** Disponível em: http://saladeimprensa.vale.com/Paginas/Releases.aspx?r=Vale_aplica_tecnologias_inovadoras_no_Projeto_S11D&s=Inovacao_e_Tecnologia&rID=115&sID=4. Acesso em: 07 de set. 2021.

VALE. **Vale aplica tecnologias inovadoras no Projeto S11D.** Disponível em: <http://www.vale.com/brasil/PT/business/mining/Paginas/s11d.aspx>. Acesso em: 07 de set. 2021.

VALE. **Vale e Progress Rail desenvolvem primeira locomotiva 100% elétrica da mineração brasileira.** 2020. Disponível em: <https://www.vale.com/pt/w/vale-e-progress-rail-desenvolvem-primeira-locomotiva-100-eletrica-da-mineracao-brasileira> Acesso em 27 mar 2023.

VALE. **Vale ESG Webinar Risk Management 2021.** Disponível em: <https://www.vale.com/pt/web/esg/apresentacoes> Acesso em 26 mar 2023.

VALE. **Vale: últimos dias para se inscrever no Programa MINE 2.0, que busca construir a mineração do futuro por meio da inovação aberta.** Disponível em: <https://www.vale.com/pt/w/vale-ultimos-dias-para-se-inscrever-no-programa-mine-20-que-busca-construir-a-mineracao-do-futuro-por-meio-da-inovacao-aberta> Acesso em 07 mai 2023.

VENTURA, Magda Maria. **O estudo de caso como modalidade de pesquisa.** Revista SoCERJ, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.

VIEIRA, Rosele Marques. **Teoria da firma e inovação: um enfoque neo-schumpeteriano.** Revista Cadernos de Economia, v. 14, n. 27, p. 36-49, 2010.

WABTEC. **About Wabtec**. Disponível em: <https://www.wabteccorp.com/about-wabtec>
Acesso em 19 mar 2023.

WINTER, Sidney G.; NELSON, Richard R. **An evolutionary theory of economic change**. University of Illinois at Urbana-Champaign's Academy for Entrepreneurial Leadership Historical Research Reference in Entrepreneurship, 1982.

WIPO. **PATENTSCOPE Database**. Disponível em:
https://patentscope.wipo.int/search/en/result.jsf?_vid=P11-LH5I31-36353 Acesso em 01 mai 2023.

Wright, James B. **Geology and Mineral Resources of West Africa**. Oxford University Press, 2002. Disponível em:
https://books.google.com.br/books?id=YBDbdZrHosMC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false Acesso em: 23 abr 2023.

ZAHRA, Shaker A.; Nambisan, Satish. **Entrepreneurship and strategic thinking in business ecosystems**. Business Horizons, v. 55, n. 3, p. 219-229, 2012.

ANEXOS

Anexo 1 – Parcerias formais do ITV em 2023 e suas respectivas áreas de atuação

	Instituições que mantém vínculo formal de parceria com o ITV em 2023	Características da instituição	Referências Bibliográficas
ITV - Mineração	BASF	Empresa alemã de química e biotecnologia que atua em diversos setores, incluindo agricultura, química, materiais e soluções industriais e cuidados pessoais e do lar.	BASF Brasil. Disponível em: https://www.basf.com/br/pt.html . Acesso em: 08 abr. 2023.
	CBPF	Centro brasileiro de Pesquisas Físicas que realiza pesquisas em áreas como astrofísica, física teórica, física experimental de partículas e física médica.	Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Disponível em: https://portal.cbpf.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	CETEM	Centro de tecnologia mineral que realiza pesquisas e oferece soluções tecnológicas para o setor mineral, incluindo mineração, meio ambiente e economia circular.	Centro de Tecnologia Mineral. Disponível em: http://www.cetem.gov.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	CNPEM	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais que possui quatro laboratórios nacionais voltados para a pesquisa em física, química, biologia, materiais e energia.	Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais. Disponível em: https://www.cnpem.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	GORCEIX	Fundação responsável pela gestão e manutenção da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, que oferece cursos de graduação e pós-graduação em engenharia de minas, metalurgia e materiais.	Fundação Gorceix. Disponível em: https://site.gorceix.org.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas que realiza pesquisas aplicadas em diversas áreas, como energia, meio ambiente, materiais, construção civil e tecnologias da informação e comunicação.	Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Disponível em: https://www.ipt.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	LAC USP	Laboratório de Controle (LAC) da Universidade de São Paulo que desenvolve pesquisas em análise e	Laboratório de Arqueologia Científica. Disponível em:

Instituições que mantém vínculo formal de parceria com o ITV em 2023	Características da instituição	Referências Bibliográficas
	controle de sistemas dinâmicos com projetos multidisciplinares em automação na agricultura e em controle de fontes alternativas.	http://www.sel.eesc.usp.br/lac/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
LULEA UNIVERSITY	Universidade sueca que oferece cursos de graduação e pós-graduação em áreas como engenharia, ciência da computação e ciências sociais, além de realizar pesquisas em diversos campos do conhecimento.	Luleå University of Technology. Disponível em: https://www.ltu.se/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
POLI USP	Escola Politécnica da Universidade de São Paulo que oferece cursos de graduação e pós-graduação em engenharia, realizando pesquisas aplicadas em diversas áreas da engenharia.	Escola Politécnica da USP. Disponível em: https://www.poli.usp.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
PUC RIO	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro que oferece cursos de graduação e pós-graduação em diversas áreas do conhecimento, realizando pesquisas em áreas como ciências exatas, humanas, sociais e aplicadas.	Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.puc-rio.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
TPN USP	Tanque de Provas Numérico do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP) – TPN USP.	Teatro Politécnico da USP. Disponível em: http://www.tpn.usp.br/simulador/Start.html . Acesso em: 08 abr. 2023.
UCT UNIVERSIDADE DE CAPE TOWN	Universidade sul-africana que oferece cursos de graduação e pós-graduação em diversas áreas do conhecimento, realizando pesquisas em áreas como ciências da saúde, ciências sociais e ciências naturais.	University of Cape Town. Disponível em: https://www.uct.ac.za/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
UFES	Universidade Federal do Espírito Santo que oferece cursos de graduação e pós-graduação em diversas áreas do conhecimento, realizando pesquisas em	Universidade Federal do Espírito Santo. Disponível em: https://www.ufes.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.

	Instituições que mantém vínculo formal de parceria com o ITV em 2023	Características da instituição	Referências Bibliográficas
		áreas como saúde, energia, meio ambiente e ciências sociais.	
	UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais que oferece cursos de graduação e pós-graduação em diversas áreas do conhecimento, realizando pesquisas em áreas como saúde, tecnologia, meio ambiente e ciências sociais.	Universidade Federal de Minas Gerais. Disponível em: https://ufmg.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	UFOP (Universidade Federal de Ouro Preto)	Universidade pública que oferece graduação e pós-graduação nas áreas de ciências humanas, sociais aplicadas, exatas e tecnológicas. Destaca-se pela atuação em pesquisas nas áreas de geologia, meio ambiente, patrimônio histórico e cultural.	Universidade Federal de Ouro Preto. Disponível em: https://www.ufop.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro)	Universidade pública que oferece graduação e pós-graduação em diversas áreas do conhecimento, com destaque para as ciências exatas e tecnológicas. É referência em pesquisas nas áreas de engenharias, física, química, biologia e saúde.	UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. Disponível em: http://www.ufrj.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	UFSJ (Universidade Federal de São João Del-Rei)	Universidade pública que oferece graduação e pós-graduação em diversas áreas do conhecimento, com destaque para as ciências humanas e sociais aplicadas. Tem como foco a formação de profissionais qualificados e a pesquisa científica e tecnológica.	UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI. Disponível em: https://www.ufsj.edu.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	UNB (Universidade de Brasília)	Universidade pública que oferece graduação e pós-graduação em diversas áreas do conhecimento, com destaque para as ciências humanas, exatas e tecnológicas. É reconhecida por sua atuação em pesquisas nas áreas de ciências	UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA. Disponível em: https://www.unb.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.

	Instituições que mantém vínculo formal de parceria com o ITV em 2023	Características da instituição	Referências Bibliográficas
		da saúde, humanas e sociais, meio ambiente e tecnologia.	
	USP (Universidade de São Paulo)	Universidade pública que oferece graduação e pós-graduação em diversas áreas do conhecimento, com destaque para as ciências exatas, biológicas e da saúde. É considerada uma das melhores universidades da América Latina e é referência em pesquisa científica e tecnológica.	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Disponível em: https://www5.usp.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná)	Universidade pública que oferece cursos de graduação e pós-graduação nas áreas de engenharias, tecnologias e ciências exatas. Destaca-se pela formação de profissionais altamente qualificados e pela atuação em pesquisas aplicadas.	UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ. Disponível em: https://www.utfpr.edu.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
ITV- Desenvolvimento Sustentável	UFPA (Universidade Federal do Pará) - Geociências	Unidade acadêmica da UFPA responsável por desenvolver pesquisas e projetos de ensino, extensão e pesquisa nas áreas de Geologia, Geociências, Geografia e Meio Ambiente. Tem como objetivo formar profissionais capacitados e desenvolver soluções para os desafios relacionados à exploração e uso dos recursos naturais.	UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. Instituto de Geociências. Disponível em: https://www.ufpa.br/igeo/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	EMBRAPA Amazônia Oriental	Unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) dedicada a pesquisas e desenvolvimento de tecnologias voltadas à agricultura e pecuária na região amazônica. Tem como objetivo promover a sustentabilidade e a melhoria da qualidade de vida das populações locais, além de contribuir para a segurança alimentar e a preservação do meio ambiente.	EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. Disponível em: https://www.embrapa.br/amazonia-oriental . Acesso em: 08 abr. 2023.

	Instituições que mantém vínculo formal de parceria com o ITV em 2023	Características da instituição	Referências Bibliográficas
	MPEG (Museu Paraense Emílio Goeldi)	Instituição de pesquisa e divulgação científica que se dedica ao estudo da biodiversidade da Amazônia. Desenvolve pesquisas nas áreas de zoologia, botânica, geologia e arqueologia, além de manter coleções de espécies e realizar exposições e atividades educativas.	MUSEU PARAENSE EMÍLIO GOELDI. Disponível em: http://www.museu-goeldi.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	Instituto SENAI de Inovação	Rede de institutos SENAI de inovação em diversas áreas, como materiais, energia, automação, biotecnologia, entre outras. Oferece soluções para a indústria por meio de serviços de pesquisa, desenvolvimento e inovação.	INSTITUTO SENAI DE INOVAÇÃO. Disponível em: https://sc.senai.br/pt-br/institutos-senai-de-inovacao . Acesso em: 08 abr. 2023.
	UFMA- Universidade Federal do Maranhão	Ensino superior, pesquisa e extensão universitária, com destaque para cursos de saúde, tecnologia e ciências sociais.	UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. Disponível em: https://www.ufma.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	Rockefeller University	Instituição de pesquisa em ciências biológicas e biomédicas, com foco em descobertas inovadoras e avanços na compreensão de doenças e saúde humana.	THE ROCKEFELLER UNIVERSITY. Disponível em: https://www.rockefeller.edu/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	Copenhagen University	Universidade de pesquisa líder na Dinamarca, com forte atuação em ciências da vida, ciências sociais e humanidades, além de forte compromisso com a sustentabilidade.	UNIVERSITY OF COPENHAGEN. Disponível em: https://www.ku.dk/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	FIOCRUZ – Fundação Oswaldo Cruz	Instituição pública de pesquisa em saúde, com atuação em diversas áreas como epidemiologia, desenvolvimento de vacinas, produção de medicamentos e controle de doenças.	FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ. Disponível em: https://portal.fiocruz.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
	Centro de Investigación y de Estudios	Instituição de pesquisa mexicana com foco em ciência e tecnologia, com destaque para áreas como biotecnologia, nanotecnologia, física e matemática.	CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL. Disponível em:

Instituições que mantém vínculo formal de parceria com o ITV em 2023	Características da instituição	Referências Bibliográficas
Avanzados – Cinvestav		https://www.cinvestav.mx/ . Acesso em: 08 abr.
IMAZON	Instituição brasileira dedicada ao estudo e monitoramento da Amazônia, com atuação em áreas como conservação ambiental, uso da terra, mudanças climáticas e políticas públicas.	IMAZON. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia. Disponível em: http://amazon.org.br . Acesso em: 08 abr. 2023.
International Potato Center-Peru	Centro internacional de pesquisa em batata, raízes e tubérculos andinos, com atuação em diversos países em desenvolvimento e foco em segurança alimentar e desenvolvimento sustentável.	CIP - Centro Internacional de la Papa. Disponível em: https://cipotato.org/es/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
Museu Zoologia USP	Museu científico da Universidade de São Paulo, dedicado ao estudo e preservação da biodiversidade, com destaque para a fauna brasileira.	MUSEU DE ZOOLOGIA DA USP. Disponível em: https://www.mz.usp.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
National institute of agricultural technology	Instituto argentino de pesquisa em agricultura e tecnologia, com atuação em diversas áreas como genética, produção de alimentos, agroecologia e recursos naturais.	INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Disponível em: https://inta.gob.ar/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
The European Bioinformatics Institute EMBL-EBI	Centro europeu de referência em bioinformática, com atuação em análise de dados genômicos, proteômicos e de outras áreas da biologia molecular.	EMBL-EBI. European Bioinformatics Institute. Disponível em: https://www.ebi.ac.uk/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
UNICAMP	Universidade brasileira de pesquisa em diversas áreas, com destaque para engenharia, ciências da saúde, ciências exatas e humanas, além de forte atuação em inovação e transferência de tecnologia.	UNICAMP. Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: https://www.unicamp.br/unicamp/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
Universid de Los Andes	Universidade colombiana de pesquisa, com destaque para áreas como engenharia, economia, ciências sociais e humanidades,	UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Disponível em: https://www.uniandes.edu.co/ . Acesso em: 08 abr. 2023.

Instituições que mantém vínculo formal de parceria com o ITV em 2023	Características da instituição	Referências Bibliográficas
	além de forte compromisso com a responsabilidade social.	
Universidade de Dresden	Universidade alemã de pesquisa, com destaque para áreas como ciências da vida, engenharia, ciências sociais e humanidades, além de forte atuação em inovação e internacionalização.	TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN. Disponível em: https://tu-dresden.de/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
University of Buenos Aires	Universidade argentina de pesquisa, com destaque para áreas como medicina, engenharia, ciências sociais e humanidades, além de forte compromisso com a educação pública e gratuita.	UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES. Disponível em: https://www.uba.ar/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
University of Costa Rica	Universidade costa-riquenha de pesquisa, com destaque para áreas como biologia, engenharia, ciências sociais e humanidades, além de forte compromisso com a sustentabilidade e a responsabilidade social.	UNIVERSIDAD DE COSTA RICA. Disponível em: https://www.ucr.ac.cr/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
UFMA-Universidade Federal do Maranhão	Ensino superior, pesquisa e extensão universitária, com destaque para cursos de saúde, tecnologia e ciências sociais.	UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO. Disponível em: http://www.ufma.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
University of St Martin of Porres	Universidade privada em Lima, Peru, oferece programas de graduação e pós-graduação em várias áreas do conhecimento.	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. Disponível em: https://www.pucp.edu.pe/ . Acesso em: 08 abr. 2023.
USP	Universidade pública brasileira, com destaque em pesquisa e ensino em diversas áreas, como ciências, tecnologia, humanidades e saúde.	USP. Universidade de São Paulo. Disponível em: https://www5.usp.br/ . Acesso em: 08 abr. 2023.

Fonte: ITV, 2023

*A parte do quadro em branco é referente ao ITV-Mineração. A parte do quadro em cinza é referente ao ITV-Desenvolvimento Sustentável.