



O PAPEL DO MINING HUB NA PROMOÇÃO DA INOVAÇÃO ABERTA NO SETOR MINERAL BRASILEIRO: UM ESTUDO EXPLORATÓRIO

Pedro de Paiva Fraga Damasceno, Frederico Giffoni de Carvalho Dutra

RESUMO

O setor mineral brasileiro, apesar de sua relevância econômica, tem enfrentado significativos desafios relacionados à inovação, sustentabilidade e transformação digital. Neste contexto, o presente estudo analisa o papel do Mining Hub – primeiro hub de inovação aberta do setor mineral do mundo, sediado em Belo Horizonte – como catalisador de inovação através da articulação entre mineradoras, startups e instituições de pesquisa. Adotando uma abordagem qualitativa de caráter exploratório, a pesquisa utiliza o estudo de caso como estratégia metodológica e combina análise documental com entrevistas semiestruturadas junto a *stakeholders* do *hub*. Os resultados evidenciam que o Mining Hub tem se consolidado como um ecossistema dinâmico de inovação, operando por meio de oito programas complementares e apresentando resultados expressivos em termos de provas de conceito desenvolvidas, startups engajadas e contratos comerciais estabelecidos. Desde sua fundação em 2019, o hub evoluiu de uma iniciativa experimental para uma plataforma que atualmente integra 49 empresas associadas, tendo implementado 14 ciclos de inovação, com contribuições significativas em áreas como gestão de rejeitos, eficiência energética e segurança operacional. Além dos resultados tangíveis, o estudo destaca o impacto transformacional do Mining Hub na cultura organizacional do setor, tradicionalmente conservador, promovendo maior abertura à inovação colaborativa. Conclui-se que iniciativas como o Mining Hub representam um caminho promissor para o desenvolvimento de um setor mineral mais inovador, sustentável e socialmente responsável, embora ainda persistam desafios relacionados à implementação em escala das soluções desenvolvidas e à mensuração de seus impactos de longo prazo.

Palavras-chave: Mining Hub; Inovação Aberta; Mineração; Sustentabilidade; Transformação Digital.

1 INTRODUÇÃO

A atividade minerária acompanha a trajetória do Brasil desde os primórdios da colonização, configurando-se não apenas como um pilar econômico, mas também como elemento formador da identidade nacional. De Minas Gerais, com seu ciclo do ouro no século XVIII, aos modernos complexos mineradores do Quadrilátero Ferrífero e da província mineral de Carajás, a mineração constitui uma atividade estratégica que permeia múltiplos setores produtivos. Contudo, apesar de sua relevância histórica e econômica, o setor enfrenta desafios contemporâneos significativos relacionados à inovação tecnológica, sustentabilidade ambiental e responsabilidade social.

O contexto global atual impõe transformações profundas ao setor mineral. A transição energética, as metas de descarbonização, as pressões por práticas ESG (*Environmental, Social and Governance*) e a necessidade de licença social para operar exigem das empresas mineradoras uma nova postura frente à inovação. Como observa Joughin (2023), a indústria mineral, especialmente na África do Sul e por extensão em outros países emergentes, está passando por uma mudança paradigmática: da inovação fechada, historicamente adotada pelo setor, para modelos de inovação



aberta que possibilitam maior agilidade, compartilhamento de riscos e acesso a tecnologias disruptivas.

A emergência da Indústria 4.0, com suas tecnologias habilitadoras como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial e análise de *big data*, apresenta oportunidades sem precedentes para uma mineração mais eficiente, segura e sustentável. Segundo Fernandez (2020), embora a indústria da mineração seja frequentemente caracterizada como lenta na adoção de novas tecnologias, as pressões competitivas e de sustentabilidade estão forçando o setor a abraçar a inovação. Simultaneamente, tais tecnologias impõem desafios de adaptação a um setor tradicionalmente conservador, o que Ediriweera e Wiewiora (2021) atribuem à maturidade da indústria e à sua resistência intrínseca à mudança.

Este cenário complexo demanda novas formas de organização das atividades de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) no setor mineral, especialmente em países emergentes como o Brasil. Proaño Vargas e Fernández Lorenzo (2024) destacam o papel fundamental da liderança organizacional e da criação de um clima propício à inovação para superar a inércia característica do setor mineral e promover a adoção de soluções tecnológicas inovadoras.

Como resposta a este imperativo de transformação, surgem novas arquiteturas institucionais voltadas à promoção da inovação aberta no setor mineral. Entre estas, destaca-se o Mining Hub, primeira iniciativa global deste tipo especificamente voltada à mineração, estabelecida em Belo Horizonte (MG) em 2019. Esta plataforma colaborativa representa uma abordagem inovadora para enfrentar os desafios contemporâneos do setor, conectando mineradoras, startups, fornecedores, instituições de ensino e pesquisa, e órgãos governamentais em um ecossistema integrado de inovação.

Diante do exposto, tem-se como problema de pesquisa o seguinte questionamento: De que forma o Mining Hub, atuando como um ecossistema de inovação aberta, influencia a geração de soluções tecnológicas para os desafios contemporâneos do setor mineral brasileiro, e qual o seu impacto na estrutura, dinâmica e cultura de inovação da indústria?

Dessa forma, o objetivo do artigo é analisar o papel do Mining Hub como ecossistema de inovação aberta voltado ao setor mineral, avaliando sua estrutura, dinâmica e impacto na geração de soluções tecnológicas para os desafios contemporâneos da indústria.

A crescente complexidade dos desafios enfrentados pelo setor mineral, como sustentabilidade ambiental, segurança operacional e produtividade, tem exigido novas formas de geração de soluções tecnológicas. Dentre elas, destaca-se a inovação aberta, cuja adoção por setores tradicionalmente fechados à inovação ainda é incipiente, especialmente no Brasil.

Como destaca Chesbrough (2003), "inovação aberta é o uso de fluxos de conhecimento internos e externos para acelerar a inovação interna e expandir os mercados para o uso externo de inovação, respectivamente". Este conceito tornou-se particularmente relevante em um contexto onde a transformação digital, a transição energética e as demandas por práticas mais sustentáveis impõem uma renovação acelerada das competências tecnológicas das empresas.

Etzkowitz e Zhou (2017) enfatizam a importância dos ambientes de inovação tripartites, envolvendo universidades, empresas e governo, como catalisadores do desenvolvimento tecnológico e econômico. Neste contexto, os hubs de inovação emergem como espaços privilegiados para a articulação entre diferentes atores do ecossistema de inovação.

Bogers et al. (2019) destacam que a gestão estratégica da inovação aberta exige uma perspectiva de capacidades dinâmicas, onde as organizações desenvolvem habilidades para sentir oportunidades, mobilizar recursos e reconfigurar competências. Esta perspectiva é corroborada por Radebe (2024), que identifica na reconfigurabilidade o elemento-chave para promover a inovação em setores tradicionalmente conservadores como a mineração.

A ausência de estudos específicos sobre *hubs* de inovação voltados à mineração aponta para



uma lacuna relevante no campo acadêmico. Este artigo visa contribuir para o preenchimento desta lacuna, analisando o Mining Hub como um ecossistema dinâmico de inovação voltado ao setor mineral e seus efeitos no desenvolvimento de soluções tecnológicas para os desafios contemporâneos da indústria.

1.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Para fundamentar a justificativa deste estudo, realizou-se uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) na base SciELO, principal repositório de publicações científicas da América Latina. Optou-se por adotar o Protocolo de Dresch, Lacerda, Antunes Jr. (2015), apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 – Protocolo de Revisão Sistemática da Literatura

| Protocolo | Descrição |
|----------------------------------|--|
| Contexto | O setor mineral brasileiro enfrenta desafios contemporâneos que demandam novas formas de organização das atividades de inovação. Neste cenário, emerge o Mining Hub como primeira iniciativa global de hub de inovação aberta voltada especificamente à mineração. O levantamento visa a identificação de outras estruturas similares na literatura. |
| Horizonte | 1992 a 2024 |
| Línguas | Português, inglês e espanhol |
| Critérios de exclusão | CE 1-Estudos cujas palavras-chave não coincidam com os descritores da estratégia de busca; CE 2-Estudos diferentes de artigos científicos (ex: anais de congresso, capítulos de livros, outros); CE 3-Estudos que não versem sobre inovação e hubs de inovação no setor de mineração; C4- Estudos duplicados; CE 5-Estudos indisponíveis para download. |
| Descritores (termos de pesquisa) | Termos: “mineração”; “inovação”; “hub de inovação”; “inovação aberta” com o conectivo booleano AND, presentes nas palavras-chave dos autores. |
| Pesquisar fontes | Scielo |

Fonte: Adaptado de Dresch, Lacerda, Antunes Jr. (2015, p.142).

Os resultados da RSL estão sintetizados no Quadro 2.

Quadro 2 - Resultados da Revisão Sistemática da Literatura na base SciELO

| Termos de busca | Resultados | Artigos relevantes | Observações |
|---------------------------------|------------|--------------------|---|
| "mineração AND inovação" | 14 | 0 | Maioria dos artigos refere-se à mineração de dados e não ao setor mineral |
| "hub de inovação AND mineração" | 0 | 0 | Nenhum resultado encontrado |
| "inovação aberta AND mineração" | 0 | 0 | Nenhum resultado encontrado |
| Total | 0 | 0 | Nenhum artigo encontrado |

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise dos resultados da busca sistemática na base SciELO revela um número pequeno de artigos e sem relevância de produção científica nacional indexada sobre inovação no setor mineral, particularmente no contexto de *hubs* de inovação e inovação aberta. Esta lacuna é especialmente significativa considerando a importância histórica e econômica da mineração no Brasil.

O baixo número de artigos científicos na principal base de dados da América Latina sobre esta temática evidencia uma oportunidade de pesquisa substancial e reforça a relevância acadêmica do presente estudo. Esta ausência pode ser atribuída a diversos fatores:

1. Baixa tradição de pesquisa na intersecção entre mineração e inovação no contexto nacional;



2. Foco predominante da literatura brasileira em aspectos ambientais e regulatórios da mineração;
3. Recente emergência do conceito de hubs de inovação setoriais no país;
4. Possível publicação de estudos relacionados em bases internacionais ou periódicos não indexados na SciELO.

Esta lacuna na literatura nacional contrasta com a crescente importância de iniciativas como o Mining Hub e outros ecossistemas de inovação que vêm sendo desenvolvidos no setor mineral brasileiro. A ausência de estudos acadêmicos sistemáticos sobre estas iniciativas representa tanto um desafio quanto uma oportunidade para o avanço do conhecimento científico na área.

A inexistência de referências nacionais torna ainda mais relevante a investigação de casos como o Mining Hub, que pode servir como estudo pioneiro para futuras pesquisas sobre inovação no setor mineral brasileiro, contribuindo para o preenchimento desta significativa lacuna identificada na literatura científica nacional.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 INOVAÇÃO ABERTA

O conceito de inovação aberta foi introduzido por Chesbrough (2003) como uma abordagem que utiliza fluxos de conhecimento internos e externos para acelerar a inovação interna e expandir os mercados para o uso externo da inovação. Este paradigma representa uma mudança significativa em relação aos modelos tradicionais de P&D, caracterizados por processos internos e proprietários.

Desde então, o conceito evoluiu para acomodar diferentes contextos e setores. Bogers *et al.* (2019) identificam a gestão estratégica da inovação aberta como um processo que requer capacidades dinâmicas específicas, permitindo às organizações adaptar-se continuamente a ambientes em transformação. Segundo os autores, o gerenciamento estratégico da inovação aberta refere-se às atividades de uma organização para criar e capturar valor, buscando deliberadamente fluxos de conhecimento através de fronteiras organizacionais.

Na mineração, a inovação aberta permite que empresas colaborem com *startups*, universidades e outras organizações para desenvolver soluções inovadoras para desafios comuns. Esta abordagem é particularmente relevante em um contexto de crescente pressão por sustentabilidade, eficiência operacional e segurança.

Joughin (2023) distingue entre inovação incremental e disruptiva no contexto da mineração. A inovação incremental envolve o aprimoramento contínuo de produtos, serviços ou processos existentes, enquanto a inovação disruptiva cria um novo mercado e torna obsoletos produtos ou serviços existentes. O autor argumenta que, embora potencialmente perturbadora, a adoção precoce de inovações disruptivas pode proporcionar vantagem estratégica significativa, permitindo às empresas pioneiras capitalizar as tendências emergentes.

Fernandez (2020) aponta que, apesar da visão comum de que a mineração é um setor de baixa inovação, há evidências crescentes de transformação tecnológica no setor, impulsionada pela necessidade de adaptação a desafios ambientais, sociais e econômicos. O autor destaca que esta transformação requer novas abordagens para a gestão da inovação, incluindo modelos mais abertos e colaborativos.

2.2 INTRAEMPREENDEDORISMO E CAPACIDADES DINÂMICAS

Um conceito complementar à inovação aberta é o de intraempreendedorismo, definido por



Radebe (2024) como o processo pelo qual indivíduos dentro de uma organização manifestam toda sua criatividade e iniciativa para gerar produtos, serviços e processos organizacionais inovadores. O autor demonstra como o intraempreendedorismo está intimamente ligado ao desenvolvimento de capacidades dinâmicas que permitem às organizações adaptarem-se a ambientes em transformação.

Teece et al. (1997) definem capacidades dinâmicas como a habilidade da empresa de integrar, construir e reconfigurar competências internas e externas para lidar com ambientes em rápida mudança. Este conceito é particularmente relevante para o setor mineral, que enfrenta desafios complexos de adaptação à transição energética e à transformação digital.

Radebe (2024) identifica três principais pilares das capacidades dinâmicas:

1. Sensoriamento - a capacidade de identificar e avaliar oportunidades e ameaças;
2. Aproveitamento - a mobilização de recursos para abordar necessidades e capturar valor;
3. Reconfiguração - a renovação contínua através de novos produtos, processos e sistemas.

O autor argumenta que a reconfiguração é o elemento mais crítico para promover a inovação em setores tradicionais como a mineração, exigindo tanto habilidades sociais quanto individuais dos intraempreendedores para redesenhar rotinas, realinhar ativos e adaptar modelos de negócio.

Esta perspectiva é complementada por Montreuil et al. (2021), que identificam dois tipos essenciais de capacidades necessárias para organizações em processo de renovação: capacidades gerenciais (ações gerenciais que reconfiguram recursos) e capacidades organizacionais (práticas organizacionais que permitem a renovação).

2.3 HUBS DE INOVAÇÃO NA MINERAÇÃO

Os *hubs* de inovação são ecossistemas estruturados para fomentar a colaboração entre diferentes atores visando a geração, desenvolvimento e implementação de soluções inovadoras. Segundo Schmidt e Brinks (2017), os hubs de inovação funcionam como espaços intermediários que fornecem plataformas para conectar, inspirar e apoiar diversos atores no desenvolvimento de iniciativas inovadoras.

No contexto da mineração, os hubs de inovação desempenham um papel particularmente importante, dada a natureza complexa e multidisciplinar dos desafios enfrentados pelo setor. O Mining Hub destaca-se como o primeiro hub de inovação aberta do setor mineral do mundo, integrando diversos atores do ecossistema de inovação. Criado em 2019, o hub evoluiu significativamente nos últimos anos, ampliando seu escopo de atuação e número de participantes.

Em 2023, o Mining Hub consolidou sua posição com 49 empresas associadas e 5 parcerias internacionais, demonstrando sua capacidade de atrair e integrar novos participantes ao ecossistema de inovação. Esta estrutura colaborativa permite a abordagem de desafios complexos do setor por meio da integração de diferentes perspectivas e competências.

Katz e Wagner (2014) argumentam que os hubs de inovação bem-sucedidos combinam três principais características: capital físico (infraestrutura e espaços de colaboração), capital humano (talentos e expertise diversificada) e capital econômico (investimentos e mecanismos de financiamento). O Mining Hub incorpora estas três dimensões em sua estrutura, criando um ambiente propício para a inovação no setor mineral.

Para compreender a complexidade organizacional do Mining Hub, é fundamental analisar sua estrutura de relacionamentos com os diversos atores do ecossistema de inovação. A Figura 1 apresenta uma representação visual destes *stakeholders* e suas interconexões, destacando o papel central do hub como articulador entre mineradoras, startups, fornecedores especializados, academia, instituições governamentais e investidores. Esta configuração em rede favorece a circulação de conhecimentos e recursos, potencializando as oportunidades de inovação aberta no setor mineral. Observa-se que as mineradoras associadas, que atualmente somam mais de 30 empresas, constituem



simultaneamente as financiadoras, beneficiárias e codefinidoras das estratégias do *hub*, estabelecendo uma governança compartilhada das iniciativas de inovação.

Figura 1 – Ecossistema do Mining Hub e seus *stakeholders*



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.4 PANORAMA DO SETOR MINERAL BRASILEIRO

O setor mineral desempenha um papel fundamental na economia brasileira. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), o faturamento do setor em 2023 alcançou R\$ 248,2 bilhões, demonstrando a robustez econômica desta indústria (Revista Mineração, 2024). O minério de ferro mantém-se como o principal produto, respondendo por aproximadamente 60% do faturamento total, seguido pelo ouro (8,8%) e cobre (7,5%).

Em termos de geração de empregos, o setor manteve mais de 221 mil postos de trabalho diretos em 2023, com a criação de novas vagas entre janeiro e novembro, conforme dados do Novo CAGED (IBRAM, 2023). Considerando os empregos indiretos, estima-se que a mineração seja responsável por mais de 2 milhões de postos de trabalho na economia brasileira.

A contribuição do setor para a balança comercial brasileira é expressiva. O saldo da balança comercial mineral em 2023 correspondeu a aproximadamente 47% do saldo comercial total do país (IBRAM, 2023). As exportações do setor totalizaram dezenas de bilhões de dólares, com um volume expressivo de toneladas, destacando-se as vendas para a Ásia, especialmente para a China.

No âmbito fiscal, o setor contribui significativamente com tributos, incluindo os *royalties* da Compensação Financeira pela Exploração Mineral (CFEM), que continuam sendo uma importante fonte de receita para estados e municípios mineradores. Minas Gerais e Pará lideram o faturamento setorial, respondendo por aproximadamente 76% do total nacional (IBRAM, 2023). As perspectivas futuras são igualmente promissoras, com previsão de investimentos bilionários para os próximos anos. Grande parte desses investimentos está direcionada a projetos de minerais considerados críticos e estratégicos para a transição energética e a descarbonização da economia global, alinhando-se com as tendências internacionais identificadas por Joughin (2023) em sua análise do setor sul-africano.



Este artigo busca compreender o papel do Mining Hub na promoção da inovação neste importante setor da economia brasileira, bem como analisar sua estrutura, mecanismos de operação e impactos concretos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Do ponto de vista de sua natureza, a pesquisa pode ser caracterizada como aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicações práticas dirigidas à solução de problemas específicos (Gil, 1994).

Como forma de abordagem do problema, a pesquisa é qualitativa, pois de acordo com Minayo (2014), preocupa-se com aspectos da realidade que não podem ser quantificados, centrando-se na compreensão e na explicação da dinâmica das relações sociais.

Em relação aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como exploratória e descritiva, pois objetiva proporcionar maior familiaridade com um problema, descrever as características de certa população ou fenômeno, ou estabelecer relações entre variáveis; envolvem técnicas de coleta de dados padronizadas (questionário, observação); assume em geral a forma de levantamento (Malhotra, 2008). Tais escolhas justificam-se pela natureza contemporânea do fenômeno estudado e pela necessidade de compreensão profunda de suas dinâmicas e contextos.

Quanto aos procedimentos técnicos, esta pesquisa caracteriza-se como bibliográfica, documental e estudo de caso. É bibliográfica por se fundamentar em materiais previamente publicados, como livros, artigos científicos e outros registros acadêmicos. Classifica-se como documental por envolver a análise de documentos internos do Mining Hub (Gil, 1994). Além disso, configura-se como estudo de caso, realizado no contexto do Mining Hub e das empresas participantes.

Diante do exposto, essa pesquisa pode ser considerada teórica e empírica qualitativa.

3.1 COLETA DE DADOS

A coleta de dados combina diferentes técnicas:

- Análise documental: Exame de materiais disponíveis no site oficial do Mining Hub, relatórios institucionais, apresentações corporativas e publicações setoriais. Esta análise permitiu mapear a estrutura, programas e resultados do hub ao longo do tempo. Foram analisados 27 documentos, incluindo relatórios anuais, comunicados à imprensa e materiais de divulgação produzidos entre 2019 e 2023;
- Entrevistas semiestruturadas: Realizadas com 15 *stakeholders* do Mining Hub, incluindo representantes de mineradoras associadas (5), *startups* participantes (6) e membros da equipe gestora (4).

As entrevistas foram conduzidas de março e abril de 2025, com duração média de 30 minutos cada. Todas foram gravadas mediante autorização dos participantes, transcritas e posteriormente analisadas utilizando software NVivo 12. A análise temática revelou categorias emergentes relacionadas a: (1) Estrutura e governança do hub; (2) Processos de inovação; (3) Desafios de implementação; (4) Resultados e impactos; e (5) Transformação cultural.

Esta abordagem multimétodo, seguindo recomendações de Farquhar et al. (2020) sobre triangulação em pesquisas qualitativas, permite a validação cruzada dos dados e confere maior robustez às análises.



3.2 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados qualitativos foram analisados com base na análise de conteúdo, conforme proposto por Bardin (2011), permitindo identificar categorias temáticas emergentes relacionadas à atuação e impacto do Mining Hub. Este processo envolveu a codificação, categorização e interpretação dos dados coletados, buscando padrões e relações que permitissem compreender o fenômeno estudado em profundidade.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 ESTRUTURA E EVOLUÇÃO DO MINING HUB

Desde sua fundação em 2019, o Mining Hub evoluiu de uma iniciativa experimental para um robusto ecossistema de inovação. Em seus primeiros anos, reunia 23 mineradoras e alguns fornecedores, mas atualmente integra 49 empresas associadas e 5 parcerias internacionais, evidenciando sua consolidação e expansão.

Este padrão de crescimento alinha-se com o que Etzkowitz e Zhou (2017) descrevem como a evolução de espaços de inovação, que iniciam com um núcleo reduzido de participantes e expandem-se organicamente à medida que demonstram valor para o ecossistema. Como destacam os autores, um ecossistema de inovação bem-sucedido precisa equilibrar a colaboração com a concorrência para gerar dinamismo sustentável, algo que o Mining Hub parece ter conseguido ao reunir empresas que, embora competidoras em alguns mercados, colaboraram na busca por soluções para desafios comuns.

A estrutura de governança do hub inclui um Conselho Anual das Mineradoras, presidido rotativamente por uma das empresas associadas - em 2023, esta posição foi ocupada pela Mineração Rio do Norte (MRN). Este modelo de governança compartilhada reflete o princípio colaborativo que fundamenta a iniciativa e ecoa o que Radebe (2024) identifica como essencial para promover capacidades dinâmicas em setores tradicionais: a habilidade social para "redesenhar rotinas, realinhar ativos e adaptar modelos de negócio".

4.2 PROGRAMAS E MECANISMOS DE INOVAÇÃO

O Mining Hub opera por meio de oito programas complementares que abordam diferentes aspectos da inovação:

- M-Start: Programa central que conecta mineradoras e startups para o desenvolvimento de provas de conceito (POCs) para desafios específicos. Até o final de 2023, já havia implementado 14 ciclos de inovação, com 12 concluídos, envolvendo 1.622 inscrições, 126 POCs apresentadas e 26 contratos pós-POC;
 - M-Growth: Auxilia startups no desenvolvimento de seus modelos de negócio, facilitando sua integração ao ecossistema da mineração;
 - M-Future, M-Spot, M-Academy, M-Connect, M-Impact e M-Science: Programas complementares que abordam, respectivamente, tecnologias futuras, soluções pontuais, capacitação, *networking*, impacto socioambiental e pesquisa científica.
- Esta abordagem multifacetada está alinhada com o que Katz e Wagner (2014) identificam



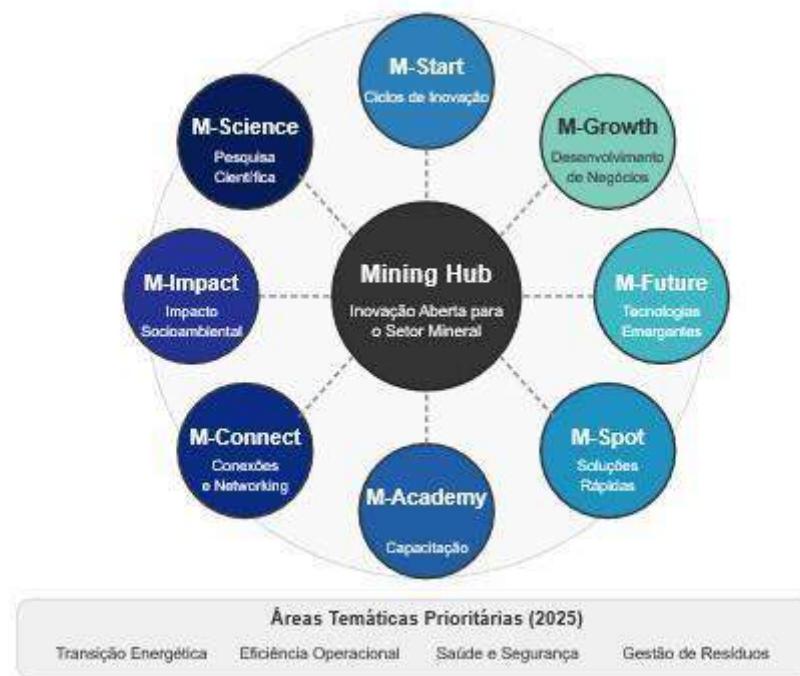
como fatores críticos para o sucesso de *hubs* de inovação: a combinação de programas que abrangem diferentes estágios do processo de inovação, desde a geração de ideias até a implementação comercial.

Em seu 11º ciclo, o programa M-Start está estruturado em cinco áreas temáticas estratégicas: 1. Transição Energética; 2. Eficiência Operacional; 3. Saúde e Segurança Ocupacional; 4. Gestão de Resíduos e Rejeitos; 5. Desenvolvimento social e comunitário.

Estas áreas refletem os principais desafios contemporâneos do setor mineral, conforme identificados por Joughin (2023), que destaca como o setor mineral sul-africano (e por extensão, outros mercados emergentes) passou por uma mudança paradigmática em direção à sustentabilidade, reconhecendo a importância da gestão ambiental e do engajamento comunitário.

O funcionamento do Mining Hub se estrutura a partir de oito programas complementares que abordam diferentes aspectos da inovação setorial. A Figura 2 ilustra como estes programas se articulam ao redor do núcleo central, formando um ecossistema integrado de promoção da inovação aberta.

Figura 2 – Programas do Mining Hub e suas interconexões



Fonte: Elaborado pelos autores.

Cada programa possui objetivos específicos, mas todos convergem para as áreas temáticas prioritárias definidas. Esta organização programática permite que o hub atue simultaneamente em diferentes estágios do processo de inovação, desde a investigação científica básica até a implementação comercial de soluções, maximizando as oportunidades de desenvolvimento tecnológico no setor.

4.3 PERFIL DAS ENTREVISTAS

Para compreender a dinâmica e o impacto do Mining Hub, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com diferentes *stakeholders* do ecossistema. O perfil dos entrevistados é apresentado no Quadro 3, garantindo o anonimato dos participantes.


Quadro 3 - Perfil dos entrevistados e principais temas abordados nas entrevistas

| Código | Cargo | Instituição | Tempo de envolvimento com o Hub | Principais temas abordados |
|--------|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---|
| E1 | Diretor de Inovação | Mineradora A | 3 anos | Governança do hub; investimentos estratégicos; resultados tangíveis |
| E2 | Gerente de Inovação Aberta | Mineradora B | 2 anos | Processo de seleção de startups; desafios de implementação |
| E3 | Coordenador de Projetos | Mineradora C | 1,5 ano | Provas de conceito; avaliação de resultados; escalabilidade |
| E4 | Líder de Transformação Digital | Mineradora D | 2,5 anos | Tecnologias emergentes; integração com processos existentes |
| E5 | Especialista em Sustentabilidade | Mineradora E | 2 anos | Impacto ambiental; licença social; ESG |
| E6 | CEO | Startup A (Gestão de Rejeitos) | 1 ano | Barreiras de entrada; financiamento; prova de conceito |
| E7 | CTO | Startup B (Eficiência Energética) | 2 anos | Adaptação tecnológica; desafios técnicos; escalabilidade |
| E8 | COO | Startup C (IoT para Mineração) | 1,5 ano | Implementação em campo; resistência à mudança |
| E9 | Fundador | Startup D (Automação) | 1 ano | Desenvolvimento da solução; propriedade intelectual |
| E10 | Diretora | Startup E (Segurança Operacional) | 2 anos | Validação em ambiente industrial; contratação pós-POC |
| E11 | Gerente de Projeto | Startup F (IA para Mineração) | 0,5 ano | Processo de adesão; expectativas; desafios iniciais |
| E12 | Diretor Executivo | Mining Hub | 3 anos | Visão estratégica; evolução da iniciativa; indicadores de sucesso |
| E13 | Gerente de Programas | Mining Hub | 2,5 anos | Coordenação de ciclos; relação com startups e mineradoras |
| E14 | Coordenador de Inovação | Mining Hub | 1,5 ano | Metodologias de inovação; facilitação de workshops |
| E15 | Analista de Ecossistema | Mining Hub | 1 ano | Mapeamento de stakeholders; mensuração de impactos |

Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise dos principais temas abordados nas entrevistas revela um panorama diversificado de perspectivas sobre o Mining Hub. Entre as temáticas mais frequentemente mencionadas, destacam-se os desafios de implementação e escalabilidade (citados por 6 entrevistados), evidenciando a complexidade de transformar provas de conceito em soluções comerciais viáveis no ambiente industrial da mineração. A resistência à mudança emergiu como um tema transversal, sendo abordada tanto por representantes de startups quanto de mineradoras, refletindo a natureza conservadora do setor mineral. Os processos de inovação e metodologias foram amplamente discutidos, especialmente pelos gestores do hub e representantes das mineradoras, indicando a importância da estruturação sistemática das atividades colaborativas. Questões relacionadas à



governança e gestão estratégica também se mostraram centrais, particularmente entre os entrevistados com maior tempo de envolvimento no ecossistema, sugerindo uma evolução na percepção sobre a importância dos mecanismos de coordenação para o sucesso da iniciativa. Temas emergentes como sustentabilidade, ESG e transformação digital ganharam destaque nas entrevistas mais recentes, alinhando-se com as tendências contemporâneas do setor mineral e confirmando o papel do Mining Hub como catalisador de inovações voltadas aos desafios atuais da indústria.

4.4 RESULTADOS E IMPACTOS

Os resultados acumulados pelo Mining Hub são expressivos. Em 2023, o *hub* registrou 353 *startups* inscritas em seus programas e investimentos superiores a R\$ 1,5 milhão em provas de conceito. Foram finalizadas 15 POCs, com outras 7 em andamento, além de 11 mineradoras envolvidas em projetos de descarbonização.

A realização de mais de 20 eventos com 5 mil inscritos e a participação de 9 palestrantes internacionais demonstram o papel do *hub* como agente de disseminação de conhecimento e boas práticas no setor. Como observa Brown e Mason (2017), os *hubs* de inovação têm papel fundamental não apenas no desenvolvimento de soluções específicas, mas também na criação de uma "infraestrutura de conhecimento" que beneficia todo o ecossistema.

Os impactos vão além dos números e incluem múltiplas dimensões transformacionais para o setor. Em primeiro lugar, destaca-se o desenvolvimento tecnológico viabilizado através das POCs e parcerias, permitindo soluções inovadoras para desafios críticos como gestão de rejeitos, eficiência energética e segurança operacional. Esta observação alinha-se com o que Joughin (2023) identifica como tecnologias transformadoras para o setor mineral, incluindo drones autônomos, monitoramento em tempo real e análise avançada de dados.

O fortalecimento do ecossistema de inovação representa outro impacto significativo, com o *hub* atuando como catalisador de conexões entre diferentes atores. Segundo Spigel e Harrison (2018), esta função de "consolidação de redes" é uma das mais importantes contribuições de *hubs* de inovação para ecossistemas emergentes. As entrevistas revelaram que o *hub* tem facilitado conexões estratégicas entre *startups* e potenciais investidores, parcerias tecnológicas entre mineradoras e maior integração academia-indústria.

Contudo, o impacto mais significativo identificado refere-se à transformação cultural do setor mineral brasileiro, tradicionalmente caracterizado por sua resistência à mudança e preferência por soluções internas de P&D. Como destaca um dos entrevistados: "*O maior impacto do Mining Hub não está nas tecnologias específicas desenvolvidas, mas na mudança de mindset das empresas mineradoras, que passaram a ver startups como parceiras estratégicas e não apenas como fornecedores*" (E1, Diretor de Inovação).

Esta transformação cultural manifesta-se em diferentes aspectos: maior abertura à colaboração externa, redução da aversão ao risco através do ambiente estruturado das POCs, aceleração dos processos decisórios relacionados à inovação e desenvolvimento de capacidades internas específicas para gestão da inovação aberta. Como observa E2 (Gerente de Inovação Aberta): "*Antes do Mining Hub, nosso processo de inovação era linear e fechado. Hoje temos uma abordagem muito mais ágil e colaborativa, com times multidisciplinares dedicados a avaliar e implementar soluções externas*".

O papel da liderança organizacional nesta transformação confirma as observações de Proaño Vargas e Fernández Lorenzo (2024) sobre a importância do apoio da alta administração para o sucesso de iniciativas de inovação. Como destaca E4 (Líder de Transformação Digital): "*O comprometimento da diretoria com o programa foi essencial para vencermos a resistência interna e*



demonstrarmos que a inovação aberta não é apenas um modismo, mas uma estratégia fundamental para nossa competitividade".

O processo de inovação aberta no Mining Hub segue um fluxo estruturado que promove a colaboração entre mineradoras e *startups* para o desenvolvimento de soluções tecnológicas. A Figura 3 detalha as quatro fases principais deste processo: identificação de desafios setoriais, chamada e seleção de *startups*, desenvolvimento de provas de conceito e implementação comercial das soluções validadas. Em cada fase, há *inputs* específicos provenientes de diferentes atores e *outputs* que geram valor para todo o ecossistema. Os resultados acumulados entre 2019 e 2025 evidenciam a efetividade deste modelo, com mais de 1.600 inscrições de *startups*, 120 provas de conceito implementadas e 26 contratos comerciais formalizados, além de investimentos superiores a R\$ 1,5 milhão no desenvolvimento de soluções inovadoras para o setor mineral.

Figura 3 – Fluxo de inovação aberta no Mining Hub



Fonte: Elaborado pelos autores.

Este processo estruturado dialoga com o que Chesbrough e Bogers (2014) identificam como elementos essenciais para o sucesso da inovação aberta: definição clara de problemas, processos eficientes de seleção de parceiros, mecanismos robustos de colaboração e estratégias de captura de valor. Similarmente, Radebe (2024) enfatiza que o processo de reconfiguração de capacidades organizacionais requer tanto habilidades individuais quanto coletivas, algo que o Mining Hub parece fomentar através de sua abordagem sistemática.

A participação no Mining Hub também tem gerado impactos mensuráveis na competitividade das empresas associadas. Os entrevistados destacaram melhorias em indicadores operacionais através da implementação de soluções de eficiência energética e automação, melhoria de indicadores de segurança com tecnologias preventivas, e fortalecimento da imagem corporativa junto a stakeholders e investidores ESG. Como observa E1 (Diretor de Inovação): "A participação no Mining Hub se tornou um diferencial competitivo. Demonstra aos nossos investidores e parceiros que estamos na vanguarda da inovação setorial, o que tem impacto direto na valoração da empresa".



4.5 IMPACTOS RELAÇÃO COM INTRAEMPREENDEDORISMO E CAPACIDADES DINÂMICAS

A análise das entrevistas revelou padrões que se alinham com os conceitos de intraempreendedorismo e capacidades dinâmicas discutidos por Radebe (2024). O Mining Hub atua como facilitador do que o autor denomina "reconfigurabilidade" - a capacidade de transformar continuamente produtos, processos e sistemas organizacionais.

Como afirma um dos entrevistados da equipe gestora do hub: "Nosso papel vai além de conectar *startups* e mineradoras. Atuamos como catalisadores de uma mudança profunda na forma como as mineradoras percebem e desenvolvem inovação, ajudando-as a reorganizar seus processos internos para absorver novas tecnologias e metodologias" (E12, Diretor Executivo).

Esta função de catalisador da reconfigurabilidade organizacional é evidente nos depoimentos dos representantes das mineradoras, que destacam como a participação no hub tem transformado seus processos internos de inovação: "Antes do Mining Hub, nosso processo de inovação era linear e fechado. Hoje temos uma abordagem muito mais ágil e colaborativa, com times multidisciplinares dedicados a avaliar e implementar soluções externas" (E2, Gerente de Inovação Aberta).

Conforme Proaño Vargas e Fernández Lorenzo (2024) observam, a liderança desempenha papel crucial na criação de um clima organizacional propício à inovação. Os entrevistados confirmam esta perspectiva, destacando como o apoio da alta administração foi determinante para o engajamento efetivo com o hub: "O comprometimento da diretoria com o programa foi essencial para vencermos a resistência interna e demonstrarmos que a inovação aberta não é apenas um modismo, mas uma estratégia fundamental para nossa competitividade" (E4, Líder de Transformação Digital).

Estes depoimentos corroboram a visão de Radebe (2024) sobre a importância do intraempreendedorismo distribuído nas organizações. Como o autor argumenta, os intraempreendedores são "arquitetos da inovação" capazes de identificar competências organizacionais e reconfigurá-las continuamente para impulsionar a inovação. O Mining Hub parece fortalecer este processo ao criar um ambiente estruturado para a colaboração entre intraempreendedores corporativos e empreendedores externos (*startups*).

4.6 DESAFIOS E PERSPECTIVAS

Apesar dos avanços, o Mining Hub enfrenta desafios significativos. A implementação efetiva das soluções desenvolvidas em escala industrial ainda representa um gargalo, assim como a mensuração precisa dos impactos das inovações. Como observa um dos entrevistados das *startups*: "Desenvolver uma prova de conceito é apenas o primeiro passo. O grande desafio é escalar a solução para toda a operação, o que envolve questões técnicas, mas principalmente culturais e organizacionais" (E8, COO de *startup*).

Este desafio de escalabilidade é identificado por Bogers et al. (2019) como uma das principais barreiras para a efetividade da inovação aberta, exigindo capacidades organizacionais específicas para integrar soluções externas aos processos internos. Como os autores argumentam, "a capacidade de absorção de uma organização - sua habilidade de reconhecer, assimilar e aplicar conhecimento externo - é determinante para o sucesso de iniciativas de inovação aberta".

Para 2025, as perspectivas apontam para um ano de escala e compartilhamento de soluções, com foco na geração de valor dentro do ecossistema. Após um período inicial dedicado à construção do ambiente e ao mapeamento de problemas, o hub agora busca ampliar o impacto das iniciativas já implementadas.



O alinhamento com políticas públicas, como o Plano Decenal de Recursos Minerais (PlanGeo), que prioriza projetos de minerais críticos e estratégicos para a transição energética, representa uma oportunidade para o aprofundamento do impacto do hub no desenvolvimento sustentável do setor. Como destaca Joughin (2023), a transição energética global apresenta simultaneamente desafios e oportunidades para o setor mineral, exigindo adaptação tecnológica e novas abordagens para a gestão de recursos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidencia o papel fundamental do Mining Hub como catalisador da inovação aberta no setor mineral brasileiro. Sua estrutura colaborativa, que integra mineradoras, fornecedores, startups e instituições de pesquisa, tem permitido a abordagem de desafios complexos por meio da combinação de diferentes perspectivas e competências.

Os resultados alcançados até o momento demonstram o potencial da inovação aberta como estratégia para o desenvolvimento sustentável do setor mineral. As soluções desenvolvidas no âmbito do hub têm contribuído para o aumento da eficiência operacional, redução de impactos ambientais e melhoria da segurança, aspectos críticos para a licença social de operação da indústria.

A análise do caso do Mining Hub permite confirmar as observações de Radebe (2024) sobre a importância das capacidades dinâmicas, particularmente da reconfigurabilidade, para promover a inovação em setores tradicionais como a mineração. O hub atua como facilitador desta reconfigurabilidade, criando um ambiente propício para que intraempreendedores corporativos identifiquem e transformem competências organizacionais em resposta aos desafios contemporâneos.

Similarmente, as observações de Proaño Vargas e Fernández Lorenzo (2024) sobre a relação entre liderança e clima organizacional para inovação encontram respaldo nos depoimentos dos entrevistados, que destacam o papel fundamental do apoio da alta administração para o sucesso das iniciativas de inovação aberta.

Como limitação, este estudo baseia-se em um único caso, o que restringe a generalização de seus resultados. Pesquisas futuras poderiam adotar uma abordagem comparativa, analisando diferentes iniciativas de inovação aberta no setor de recursos naturais, ou aprofundar a investigação sobre os mecanismos específicos de transferência de conhecimento e tecnologia no contexto do Mining Hub.

Por fim, destaca-se a contribuição do Mining Hub para a construção de um setor mineral mais inovador, sustentável e socialmente responsável, aspectos essenciais para o futuro da indústria em um cenário de crescentes desafios ambientais, tecnológicos e sociais.

REFERÊNCIAS

AMABILE, T. M.; PRATT, M. G. The dynamic componential model of creativity and innovation in organizations: Making progress, making meaning. **Research in Organizational Behavior**, v. 36, p. 157-183, 2016.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2011.

BOGERS, M.; CHESBROUGH, H.; HEATON, S.; TEECE, D. J. Strategic management of open innovation: A dynamic capabilities perspective. **California Management Review**, v. 62, n. 1, p. 77-94, 2019.



BROWN, R.; MASON, C. Looking inside the spiky bits: A critical review and conceptualisation of entrepreneurial ecosystems. *Small Business Economics*, v. 49, n. 1, p. 11-30, 2017.

CHESBROUGH, H. W. **Open innovation**: The new imperative for creating and profiting from technology. Boston: Harvard Business School Press, 2003.

CHESBROUGH, H.; BOGERS, M. Explicating open innovation: Clarifying an emerging paradigm for understanding innovation. In: CHESBROUGH, H.; VANHAVERBEKE, W.; WEST, J. (Eds.). **New frontiers in open innovation**. Oxford: Oxford University Press, 2014. p. 3-28.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES JR, José Antonio Valle. **Design science research**: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia. Bookman Editora, 2015.

EDIRIWEERA, A.; WIEWIORA, A. Barriers and enablers of technology adoption in the mining industry. **Resources Policy**, v. 73, 102188, 2021.

ETZKOWITZ, H.; ZHOU, C. **The triple helix**: University–industry–government innovation and entrepreneurship. London: Routledge, 2017.

FARQUHAR, J.; MICHELS, N.; ROBSON, J. Triangulation in industrial qualitative case study research: Widening the scope. **Industrial Marketing Management**, v. 87, p. 160-170, 2020.

FERNANDEZ, V. Innovation in the global mining sector and the case of Chile. **Resources Policy**, v. 68, 101690, 2020.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **IBRAM apresenta panorama do setor mineral brasileiro no ENIC 2023**. 2023. Disponível em:
<https://ibram.org.br/noticia/ibram-apresenta-panorama-do-setor-mineral-brasileiro-no-enic-2023/>.
Acesso em: 1 set. 2025.

JOUGHIN, W. C. Innovation in the South African mining industry. **Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy**, v. 123, n. 11, p. v-vi, 2023.

KATZ, B.; WAGNER, J. **The rise of innovation districts**: A new geography of innovation in America. Washington, DC: Brookings Institution, 2014.

MINAYO, M. C. de S. **O desafio do conhecimento**: pesquisa qualitativa em saúde. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.

MALHOTRA, N. K. **Pesquisa de marketing**: uma orientação aplicada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

MONTREUIL, V. L.; LAUZIER, M.; GAGNON, S. A closer look at determinants of organizational capability to innovate (OCI): A dynamic capabilities perspective. **European Journal of Innovation Management**, v. 24, n. 4, p. 1355-1381, 2021.



PROAÑO VARGAS, J. O.; FERNÁNDEZ LORENZO, A. Liderazgo y clima organizacional de innovación en una empresa minera ecuatoriana. **Cooperativismo y Desarrollo**, v. 12, n. 1, 2024.

RADEBE, N. T. Intrapreneurship and dynamic capabilities interplay: Insights of a diamond mine. **Acta Commercii**, v. 24, n. 1, p. 1-8, 2024.

REVISTA MINERAÇÃO. Setor mineral brasileiro fatura R\$ 248,2 bilhões em 2023. 2024.

Disponível em:

<https://revistamineracao.com.br/2024/01/31/faturamento-setor-mineral-brasileiro-2023/>. Acesso em: 1 set. 2025.

SCHMIDT, S.; BRINKS, V. Open creative labs: Spatial settings at the intersection of communities and organizations. **Creativity and Innovation Management**, v. 26, n. 3, p. 291-299, 2017.

SPIGEL, B.; HARRISON, R. Toward a process theory of entrepreneurial ecosystems. **Strategic Entrepreneurship Journal**, v. 12, n. 1, p. 151-168, 2018.

TEECE, D. J.; PISANO, G.; SHUEN, A. Dynamic capabilities and strategic management. **Strategic Management Journal**, v. 18, n. 7, p. 509-533, 1997.

YIN, R. K. **Estudo de caso**: planejamento e métodos. Porto Alegre: Bookman, 2015.