

RODRIGO GUERRA EICHHOLZ

**DESAFIOS PARA EVOLUÇÃO DA MINERAÇÃO DE PEQUENO E MÉDIO
PORTE PARA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL**

São Paulo
2021

RODRIGO GUERRA EICHHOLZ

**DESAFIOS PARA EVOLUÇÃO DA MINERAÇÃO DE PEQUENO E MÉDIO
PORTE PARA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Minas do curso de graduação do Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Orientador: Prof. Giorgio Francesco Cesare de Tomi

São Paulo
2021

Catálogo-na-publicação

Eichholz, Rodrigo

DESAFIOS PARA EVOLUÇÃO DA MINERAÇÃO DE
PEQUENO E MÉDIO PORTE PARA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL / R.
Eichholz – São Paulo 2021 xp.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo. Departamento de Engenharia de Minas e de Petróleo.

1. 2. 3. 4. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento
de Engenharia de Minas e de Petróleo II.t.

RESUMO

A mineração no Brasil é composta por aproximadamente 98% de empresas de pequeno e médio porte, enquanto o resto seriam grandes empresas. O setor é tradicionalmente conhecido por ter um menor grau de inovação tecnológica, porém há uma nova revolução industrial no horizonte, que vem provocando grandes mudanças nas dinâmicas da mineração. Trata-se da quarta revolução industrial, que foi muito bem sintetizada pelo conceito de indústria 4.0. Esse conceito engloba uma grande quantidade de tecnologias, mas que podem ser aglomeradas em: IoT, IIoT (Industrial Internet of Things), Big Data, AI (Artificial Intelligence) e CPS (Cyber Physical Systems). Essas tecnologias são capazes conectar e integrar equipamentos e espaços físicos com espaços digitais para obter e processar uma grande quantidade de dados que irão embasar decisões de negócio e ajustes refinados dos processos. Nesse contexto, o trabalho visa compreender melhor qual o grau de aplicação dessas tecnologias em mineradoras de pequeno e médio porte no Brasil e quais as dificuldades mais recorrentes para implementá-las. A metodologia do trabalho pode ser dividida em uma primeira etapa de pesquisa bibliográfica e uma segunda de pesquisa exploratória de campo. Entrevistando profissionais de algumas pequenas e médias mineradoras foi possível identificar grande interesse nas tecnologias. O conhecimento que apresentaram a respeito das tecnologias variou e algumas dessas minerações já possuem certas tecnologias implementadas. Também apontaram algumas barreiras à implementação, como falta de recursos, resistências à mudança e pouca mão de obra qualificada, entre outros.

Palavras-Chave: mineração 4.0, inovação, Brasil, pequena e média mineração, desafios, barreiras

ABSTRACT

The mining sector in Brazil is composed of approximately 98% of small and medium companies, while the rest are big companies. The mining industry is known for its low degree of technological innovation, but there is a new industrial revolution on the horizon that is also causing big changes in mining. That is the fourth industrial revolution, that was well summed up by the concept of Industry 4.0. This concept refers to a big amount of technologies that can be grouped in: IoT, IIoT (Industrial Internet of Things), Big Data, AI (Artificial Intelligence) e CPS (Cyber Physical Systems). These technologies are capable of connecting and integrating equipment and physical spaces with digital spaces to obtain a great amount of data that will serve as a base for process optimization and business decisions. In that context, this study seeks to better understand the current level of application of this technology on small and mid mining companies in Brazil and check what are the most common difficulties to implement them. The methodology can be divided into a first stage of bibliographic research and a second stage of field research. Interviewed professionals of a few small and medium mining companies have stated they have great interest in those technologies. Their knowledge of these technologies vary and some of the companies have already implemented some technologies. They have also pointed out a few barriers to innovations, like few resources, resistance to changes and lack of qualified labor.

Keywords: mining 4.0, innovation, Brazil, small and medium mining, challenges, barriers

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Índice de preços de metais
- Figura 2 - Principais objetivos da mineração 4.0
- Figura 3 - Principais meios
- Figura 4 - Principais tecnologias da mineração 4.0
- Figura 5 - Estrutura de sistema de controle de dados

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atividades inovativas das empresas brasileiras por porte

Tabela 2 - Características de fábricas inteligentes

Tabela 3 - Características de uma Mineração 4.0

Tabela 4 - Motivadores e barreiras para inovação na mineração

Tabela 5 - Perguntas realizadas aos entrevistados

Tabela 6 - Minerações onde trabalham os entrevistados

LISTA DE SIGLAS

AI	Artificial Intelligence
CPS	Cyber Physical Systems
IoT	Internet of Things
IIoT	Industrial Internet of Things

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
3.1 Inovação na mineração brasileira	11
3.1.1 Iniciativas de Inovação	12
3.2 Definição de Indústria 4.0	14
3.2.1 Características de Fábricas Inteligentes	14
3.2.2 Integração vertical, horizontal e ponta a ponta	15
3.3 Mineração 4.0 e suas tecnologias	16
3.4 Dificuldades para inovação na mineração brasileira	20
4. METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE TRABALHO	22
4.1 Metodologia	22
4.2 Descrição das Etapas de Trabalho	22
4.2.1 Pesquisa Bibliográfica	22
4.2.1 Pesquisa de Campo	23
4.3 Entrevistas	23
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5.1 Exposição dos dados das entrevistas	25
5.1.1 Entrevistado da Mina A - Mina de calcário:	25
5.1.2 Entrevistado da Mina B - Pedreira de brita:	27
5.1.3 Entrevistado da Mina C - Mina de areia:	29
5.1.4 Entrevistado da Mina D - Mina de calcário:	30
5.2 Análise qualitativa dos dados	31
5.2.1 Análise inicial	31
5.2.2 Análise por pergunta	32
5.2.3 Análise das barreiras de inovação	34
6. CONCLUSÕES	35
7. REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

Muito tem se falado na quarta revolução industrial e seus desdobramentos em diversos setores da economia. Originalmente fala-se na aplicação dessas tecnologias nas indústrias de manufaturas, mas logo essas tecnologias e conceitos foram se expandindo para outros setores, como o da mineração. A quarta revolução industrial é resultado da confluência de todas as tecnologias existentes hoje e que foram evoluindo ao longo das três revoluções anteriores.

A primeira revolução industrial ocorreu na segunda metade do século 18 na Inglaterra. O principal marco tecnológico foi a criação da máquina a vapor, capaz de propulsionar máquinas que substituíram pessoas em tarefas repetitivas ou que exigissem grande quantidade de força. Os transportes foram revolucionados com o trem a vapor e a fabricação de tecidos tomou escalas inéditas. (HUMPHREYS, 2019).

A segunda revolução industrial ocorre a partir da metade do século 19 e engloba uma enorme quantidade de novas tecnologias e segmentos de indústrias. Surgiu a indústria química, energia elétrica, o petróleo, aço e aviões e grandes evoluções nos sistemas de comunicação. (HUMPHREYS, 2019).

A terceira revolução industrial ocorreu no final do século 20 e foi marcada pela substituição gradual da mecânica analógica pela digital, uso de microcomputadores e criação da internet. (HUMPHREYS, 2019).

Por fim, a quarta revolução industrial é um aprimoramento e criação de novos sistemas que foram construídos sobre a infraestrutura da revolução digital - a revolução anterior. Com essa revolução há a tendência de total automatização das fábricas, através da integração de máquinas com processos digitais, através das tecnologias de IoT, computação em nuvem e inteligência artificial.

A mineração é mais antiga que todas as revoluções industriais e foi profundamente afetada por cada uma delas, o que não é diferente em relação à mais recente. Porém, a implementação de novas tecnologias não costuma ocorrer de maneira uniforme para todos os setores e empresas. As grandes empresas de mineração tendem a tomar a liderança nessas inovações enquanto as médias e pequenas ficam para trás.

2. OBJETIVOS

Analisar o contexto de inovação nos empreendimentos mineiros de pequeno e médio porte no Brasil, discutir a relevância da tecnologia de mineração 4.0 para essas empresas e os desafios para implementá-la.

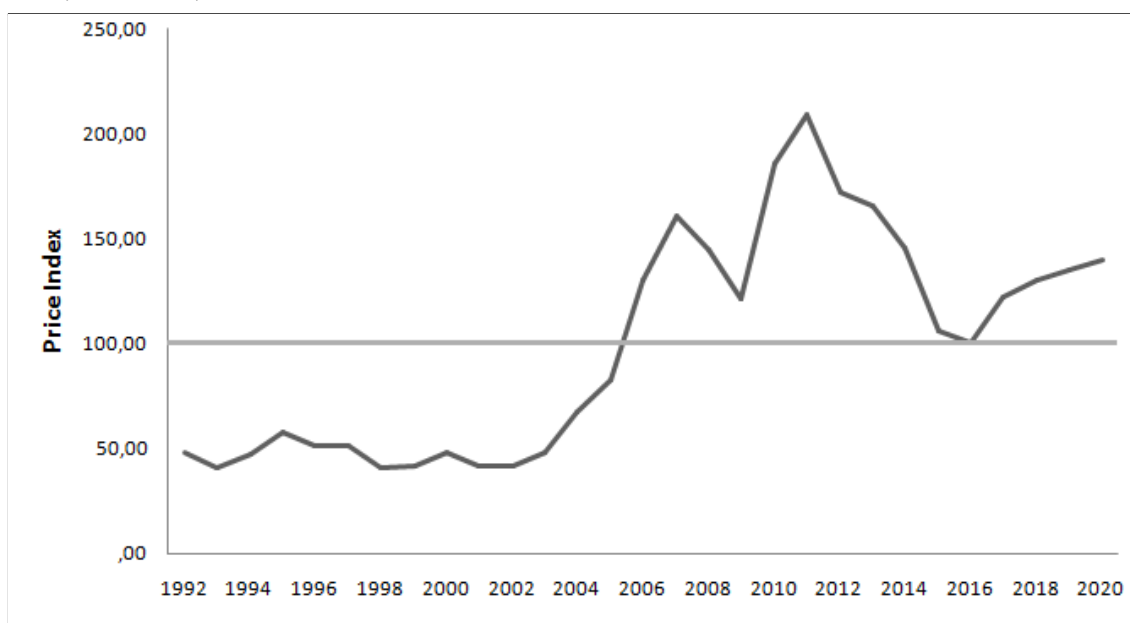
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste trabalho busca apresentar o contexto de inovação na mineração brasileira e alguns dos seus desafios ou dificuldades. Também visa apresentar de maneira geral a indústria 4.0 e como suas tecnologias são aplicadas na mineração.

3.1 Inovação na mineração brasileira

Movimentos estruturais e conjunturais adversos do cenário internacional estão impondo grandes desafios ao setor da mineração, podendo provocar importantes mudanças, principalmente na questão do desenvolvimento de novas tecnologias. Sobreoferta mundial de minérios causada pela redução do crescimento da economia chinesa, redução de preços de mercado, queda da margem de retorno e maior competitividade internacional, até mesmo com a entrada de produtores chineses. A redução de preços não era esperada e provocou um desbalanço no mercado de commodities metálicas (a partir de 2011), prejudicando os níveis de retorno de grandes projetos de mineração. A partir de 2017 há leve valorização, mas com tendências de estabilização, cenário diferente do final da década de 2000.

Figura 1 - Índice de preços de metais com maior comercialização - como minério de ferro, alumínio, cobre entre outros.



Fonte: FMI (2021).

Além desse fator, a agenda de promoção de sustentabilidade socioambiental também pressiona as empresas mineradoras a inovarem. Alguns dos objetivos são: “(i) minimizar o volume de material movimentado da mina e de efluentes não aproveitados;

(ii) minimizar o consumo de água; (iii) minimizar os riscos decorrentes dos processos de beneficiamento e da deposição de rejeitos; (iv) minimizar os impactos da mina; e (v) maximizar a satisfação social” (MESQUITA, 2016).

Devido à tendência de redução do teor de minérios lavrados ao longo dos anos, há também um movimento de investimentos em tecnologias e processos para aumentar a recuperação desses minérios. Sendo os principais focos: aproveitamento e aglomeração de finos e ultrafinos; aprimoramento do processo para aumentar a recuperação de minérios; novos processos para recuperação e reutilização de resíduos e outros elementos dispersos; tecnologias de deposição de resíduos que tenham menores riscos; redução, reutilização e recuperação de água utilizada nos processos; melhorias na segurança de barragens e redução dos seus riscos ambientais (MESQUITA, 2016).

Segundo Chaves (2018) as principais pressões por inovação no contexto brasileiro são: (i) a econômica, se o mineral for caro, toda a cadeia produtiva que ele origina será encarecida, portanto deseja-se um preço baixo de matéria prima; (ii) a concorrência atualmente é globalizada e é necessário competir com produtos originados de mercados mais competitivos ou até de países cuja economia não é de mercado, como a chinesa; (iii) a sociedade deseja consumir mais, porém a preços menores; (iv) jazidas com minérios cada vez mais pobres e em localidades cada vez mais distantes e desprovidas de infraestrutura.

3.1.1 Iniciativas de Inovação

Chaves (2018) destaca o importante papel que a inovação tem na mineração brasileira ao longo das décadas, citando alguns exemplos. O separador Jones foi implementado pela primeira vez em projeto brasileiro na usina do Cauê em Itabira, MG. A técnica de flotação reversa foi desenvolvida originalmente para concentrar um rico minério de ferro brasileiro, o itabirito. A Samarco, em Mariana, MG, implantou um projeto que gerava como produto final o pellet feed, em contraste com o contexto da época de produção de sinter feed, e com instalação de um mineroduto de 400km, o projeto ainda é referência mundial após 40 anos.

Em relação a tecnologias de automação e controle, há algum tempo os avanços são muito notáveis nas indústrias e em operações de logística, porém, ultimamente essa realidade já começa a se estender à mineração também. Há disponibilidade de sistemas de automação de veículos e equipamentos para movimentação de cargas na mineração através de controle remoto.

As maiores mineradoras do mundo estão na vanguarda da implementação de sistemas autônomos para movimentação de carga, entre elas a Vale, Rio Tinto, BHP e Fortescue Metals. A Vale, por exemplo, utiliza um sistema inovador composto exclusivamente de transportadores de correia na operação Ferro Carajás S11D (MESQUITA, 2016).

A automação e controle na mineração visam alcançar um patamar semelhante de coordenação e produtividade que já se encontra em processos industriais ou centros

logísticos, que contam com grande aparato robótico autônomo e integrado entre si. A tendência para esse rumo que tem grande potencial para reduzir custos e aumentar produtividade gera cada vez mais pressão no mercado de commodities para a adoção dessas tecnologias para empresas que querem manter sua liderança e competitividade.

Além disso, tecnologias de informação e processamento de grandes quantidades de dados permitem a prevenção de danos a equipamentos e informações detalhadas dos processos em tempo real, que possibilita frequentes ajustes e melhorias para ganhos de eficiência e qualidade (MESQUITA, 2016).

Nos últimos anos, o cenário de startups e instituições que fomentam o empreendedorismo junto à inovação tem crescido rapidamente em diversos setores da economia brasileira. Na mineração não é diferente, como prova a iniciativa do Mining Hub, um hub de inovação aberta para buscar soluções para desafios comuns do setor, integrando startups, mineradoras, fornecedores, pesquisadores e investidores. Através da inovação se busca transformar a cultura e melhorar a reputação do setor. A iniciativa tem apoio direto do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM) e algumas das maiores mineradoras do Brasil e do mundo estão associadas a essa iniciativa, como a Vale, Alcoa, Anglo American, CBMM entre outras.

Porém, apesar de todas essas frentes de inovação e oportunidades, a realidade da mineração brasileira pode variar muito dependendo da região do país, do mineral a ser lavrado e do porte da empresa em si. Há uma enorme diversidade de cenários e mesmo com fortes tendências de mercado favoráveis a essas inovações, uma parcela bastante significativa dos empreendimentos mineiros brasileiros pode simplesmente não estar acompanhando essas mudanças, principalmente no que se refere à aplicação de tecnologias de mineração 4.0. Os motivos podem ser variados, desde a limitação de recursos até mesmo a cultura das empresas e resistência a mudanças dinâmicas e disruptivas.

Segundo Zucoloto e Nogueira (2016) há uma diferença muito significativa de investimentos em inovação entre cada porte de mineração no Brasil, com grande destaque para as maiores mineradoras, vide a tabela 1.

Tabela 1 - Atividades inovativas das empresas brasileiras por porte (em %)

Empresas por porte (funcionários) (extrativa e transformação)	Taxa de inovação: produtos e/ou processos	Distribuição	
		Dispêndio em atividades inovativas	Dispêndio em atividades internas de P&D
De 10 a 99	34,4	18,3	6,9
De 100 a 499	45,5	23,9	10,9
500 ou mais	55,9	57,8	82,2
Total	-	100	100

Fonte: adaptado de Zucoloto e Nogueira (2016).

3.2 Definição de Indústria 4.0

Segundo Weyer et al. (2020) indústria 4.0 é uma invenção estratégica que o governo alemão adotou em seu plano de ação para estratégias de tecnologias avançadas até 2020, criado no ano de 2011. A indústria 4.0 ganhou popularidade em muitos países ao redor do mundo e é vista como a extensão das três revoluções industriais anteriores que eram baseadas em mecanização. A manufatura passa a contar com as tecnologias de IoT, IIoT (Industrial Internet of Things), Big Data, AI (Artificial Intelligence) e CPS (Cyber Physical Systems) para gerar a quarta revolução industrial.

Um *Cyber Physical System* inclui produtos, módulos de produção, dispositivos no chão da fábrica e máquinas capazes de tomar decisões de forma independente, trocar informações entre si, acionar outros dispositivos e têm controle integrado entre si. Com a implementação da tecnologia de Internet of Things (IoT) é possível conectar os dispositivos e equipamentos inteligentes, coletar grandes volumes de dados e transformar as indústrias em ambientes inteligentes. Os equipamentos possuem componentes mecatrônicos e sensores para coletar informações e manipular os processos em tempo real. Nestes dispositivos há interface “humano-máquina” para configurações e acompanhamento de dados e funcionamento. Como o CPS permite uma integração vertical e uma rede de conexões dos sistemas de manufaturas é possível uma configuração flexível da produção e aproveitamento de oportunidades de otimização. Além de permitir uma colaboração mais próxima entre os funcionários e entre empresas parceiras (SISHI M. et al. 2020).

3.2.1 Características de Fábricas Inteligentes

Tabela 2 - Características de fábricas inteligentes

Características	Descrição
Customização massiva	É possível atender às flutuações de requerimentos de produção, além de permitir lucros com volumes baixos de produção
Agilidade	Aspectos como tempo, qualidade e preço são rapidamente administrados por sistemas de produção inteligente que se auto configuram
Visibilidade e tomadas de decisão otimizadas	IoT permite transparência em tempo real, o que permite que decisões de negócios possam ser tomadas no momento certo
Melhores métodos de planejamento	As fábricas podem ser otimizadas em diferentes níveis em tempo real e caso a caso

Características	Descrição
Análise de dados aprimorada	As grandes quantidades de dados fornecidas por dispositivos IoT podem ser utilizadas para análises. Além disso, os dados coletados por esses dispositivos são mais confiáveis do que dados alimentados manualmente por pessoas.
Monitoramento remoto	IoT permite que o monitoramento, operação e manutenção das fábricas sejam remotos
Automação	Processos manuais terão envolvimento reduzido de pessoas, aumentando eficiência e segurança e reduzindo erros
Manutenção preditiva	Com a coleta de dados dos equipamentos em tempo real é possível determinar quando uma máquina precisa ser retirada para manutenção
Integração da cadeia de suprimentos	A fábrica pode conectar seus equipamentos diretamente com os fornecedores de suprimentos, permitindo clara visualização das relações de dependência, fluxo de materiais e ciclos de produção
Controle de energia	É possível coletar dados de consumo de energia de máquinas e linhas de produção em tempo real e então tomar decisões para um consumo mais eficiente

Fonte: Adaptado de Sishi M. et al. (2020)

3.2.2 Integração vertical, horizontal e ponta a ponta

Portanto, essas fábricas possuem integração vertical entre os seus sistemas internos de informação, a produção em si e outros processos. Dessa forma é definida uma conexão entre os fatores de geração de valor, como produtos, pessoas, máquinas e processos ao longo de todos os níveis da empresa.

A integração horizontal permite uma rede de conexões entre os parceiros da cadeia de produção e seus sistemas de informação e comunicação. Clientes, fornecedores e outros parceiros se conectam de maneira mais próxima em uma rede de cooperação.

A integração digital de ponta a ponta é a engenharia de todo o ciclo de vida do produto. O produto é rastreado desde a sua matéria prima até o seu estado final. Então há integração digital dos *stakeholders*, produtos e equipamentos para compartilhar dados em tempo real durante as fases do ciclo do produto (SISHI M. et al. 2020).

3.3 Mineração 4.0 e suas tecnologias

O contexto da mineração na Alemanha – onde foi introduzido o conceito de indústria 4.0 – é de um mercado com mão de obra altamente qualificada e cara, o que torna obrigatório o constante investimento em automação e produtividade para que os empreendimentos do setor mineral sejam rentáveis. Nesse contexto existe forte exigência por sustentabilidade e redução de impactos ambientais, o que exige ainda mais inovações tecnológicas para manter os empreendimentos rentáveis (BARTNITZKI, 2017).

Além de todos os benefícios dessas tecnologias demonstrados anteriormente, no contexto da mineração existem mais alguns objetivos chave a serem alcançados (ver figura 2). Busca-se sempre um aumento no nível de segurança dos trabalhadores, redução do impacto ambiental, crescimento do impacto econômico e melhoria na aceitação da sociedade - a mineração é muito mal vista devido aos seus impactos ambientais relevantes.

Figura 2 – Principais objetivos da mineração 4.0.



Fonte: Adaptado de BARTNITZKI (2017).

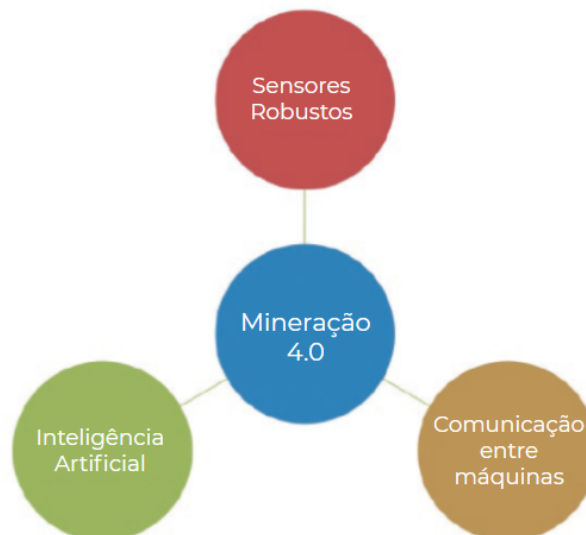
Figura 3 – Principais meios para alcançar os 4 objetivos.



Fonte: Adaptado de BARTNITZKI (2017).

Para alcançar estes objetivos, utilizam-se de alguns meios, como a aprimoração da seletividade do minério, para redução de custos, melhoria de processos e redução de desperdícios e poluição por despejo de rejeitos. Implementação de equipamentos autônomos para retirar pessoas de tarefas potencialmente perigosas.

Figura 4 – Principais tecnologias da mineração 4.0



Fonte: Adaptado de BARTNITZKI (2017).

Segundo Bartnitzki (2017) a segurança pode ser melhorada com automação e irá requerer comunicação *Machine to Machine*. A redução do impacto ambiental e

rentabilidade podem ser viabilizadas com uma seletividade melhorada, que irá exigir sensores robustos, inteligência artificial e *Internet of Things* para conectividade entre equipamentos, coleta massiva de dados, e configuração autônoma destes equipamentos.

3.3.1 Exemplo de Mineração 4.0

Sishi M. et al. (2020) faz um estudo de caso de implementação de métodos de indústria 4.0 em uma mineração para integrar desde a produção até os parceiros de negócios. O resultado é uma mineração inteligente, totalmente integrada e a gestão e tomadas de decisões são fundamentadas em grandes quantidades de dados confiáveis.

Para a integração vertical na mineração utiliza-se o SAP - ERP (*System Applications and Products - Enterprise Resource Planning*), um sistema de gestão integrado, que está conectado a todos os outros sistemas da empresa através de um repositório de dados central. Todos os menores sistemas estão integrados ao principal, como por exemplo o sistema *Fuel Monitoring System* (FMS), que monitora o combustível da frota. Essa configuração permite a integração horizontal, já que os dados são compartilhados também com parceiros e fornecedores.

As vantagens alcançadas com a implementação desse sistema estão listadas e descritas a seguir:

Tabela 3 - Características de uma Mineração 4.0.

- Customização massiva: é possível alterar padrões de perfuração, detonação e alimentação a qualquer momento. O caminhão de carga pode ser encaminhado em tempo real, além de estar equipado com sensores de combustíveis e de danos nos pneus, permitindo programar abastecimentos e manutenções nos momentos adequados;
- Monitoramento de produção: Key Performance Indicators (KPIs) como total de metros perfurados, toneladas de minério extraídas, consumo de ácido, minério desmontado entre outros servem como bases para relatórios de acompanhamento de produção, dando embasamento para intervenções nas etapas de produção;
- Monitoramento de consumo de combustível: o sistema de Fuel Management System (FMS) avalia a quantidade de combustível e o consumo de cada veículo;
- Gestão de equipamentos: controle de performance de cada equipamento em tempo real;
- Desempenho da frota de transporte;
- Acompanhamento de pneus e aros: coleta informações de custos e vida útil de pneus e aros dos caminhões, que são componentes que requerem frequente atenção;

-
- Agilidade: possibilita acompanhar em tempo real a qualidade de produtos e gastos energéticos para rápida intervenção, evitando aumentos de custos;
-
- Programação de produção: com os dados coletados, é possível identificar sobrecargas e gargalos nos processos, então o operador pode reorganizar e reprogramar alguns processos;
-
- Planejamento de mina: os dados de perfuração e produção coletados diretamente na cava auxiliam a planejar os avanços de lavra;
-
- Aprimoramento de análise de dados: com o grande volume de dados gerados pelas coletas em campo e com a integração total de sistemas, a análise e tratamento de dados será mais eficiente e abrangente.
-
- Monitoramento remoto: como há integração dos sensores na produção com os sistemas de informação, é possível realizar monitoramento remoto, gerando economia de tempo e redução de equipe;
-
- Automação: possibilita afastar trabalhadores de atividades de maior risco e com potencial de aumento de produtividade e consistência;
-
- Cadeia de suprimentos integrada: com os dados de operação os fornecedores podem acompanhar em detalhes a performance e durabilidade dos seus equipamentos;
-
- Controle de consumo de energia: auxiliar no agendamento de funcionamento de equipamentos mais consumidores para evitar picos de consumo e outros monitoramentos.
-

Fonte: Adaptado de Sishi M. et al. (2020).

3.4 Dificuldades para inovação na mineração brasileira

Cada indústria ou setor possui o seu contexto e seus desafios para a inovação, de forma que o setor da mineração é comumente visto como um setor de baixa inovação tecnológica. Gruehagen e Parker (2020) determinaram os principais fatores que influenciam na inovação no setor da mineração. Ver tabela 3.

Tabela 4 - Motivadores e barreiras para inovação na mineração.

	Motivadores	Barreiras
Nível de sistema/ institucional	Requisitos regulamentares	Incertezas regulatórias
	Investimento governamental	Falta de incentivos governamentais Incertezas políticas Regulamentação desencoraja a inovação
Ambiente competitivo	Sistemas sociais	
	Compromisso do cliente	Incertezas
	Pressões de mercado	Tamanho do mercado
	Ingressantes com novas tecnologias	Design dominante
Arquétipos	Projetos de demonstração	Falta de testes
	Campeões de tecnologia	
Interações das partes interessadas (stakeholders)	Transbordamento de conhecimento	Falta de transmissão de conhecimento
	Troca de ideias	Informações divergentes
	Colaboração	Relacionamento de curto prazo
	Promover adoção	Falta de incentivo na difusão de informações Falta de coordenação e rede de contatos Falta de confiança
Empresa	Competência	Falta de competências
	Incumbência	Falta de confiabilidade das novidades
	Mão de obra	Falta de mão de obra qualificada
	Cultura inovadora	Falta de cultura inovadora

	Motivadores	Barreiras
	Abertura para mudança	Resistência à mudança
	Orientação para o empreendimento	Abordagem reativa
	Investimento em P&D	
	Experiência de mercado	Resistência dos trabalhadores/sindicatos Obstáculos administrativos
Econômico	Redução de custos (incluindo trabalhadores)	Custos de investimento/ falta de recursos financeiros
	Aumento da produtividade	
	Aumento da eficiência	
	Lucratividade	Baixas expectativas de retorno
	Minimização de riscos	Risco de falha/investimento
Gerencial	Facilitadores de inovação	Impedimentos cognitivos
	Orientações de gerenciamento	Mentalidade de curto prazo
	Comunicação e engajamento	Foco em evitar riscos Falta de prioridade
Responsabilidade social da corporação	Saúde e segurança Redução de emissões Sustentabilidade Ética de negócios Reputação da empresa	-
Operacional	Obsolescência de tecnologia	Desafios tecnológicos
	Melhoria na acessibilidade de recursos	Pressão de produção
	Mudança da condição local	Complexidade de implementação Isolamento geográfico

Fonte: Adaptado de Gruenhagen e Parker (2020).

4. METODOLOGIA E DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DE TRABALHO

4.1 Metodologia

A metodologia do trabalho pode ser descrita de acordo com os seguintes critérios:

Quanto à finalidade: básica, pesquisa teórica para aprofundamento de conhecimentos. Não há pretensão para algum tipo de aplicação prática. Poderá servir como um material introdutório àqueles que quiserem compreender melhor o assunto.

Quanto ao objetivo: descritivo-exploratório, ou seja, pesquisa de artigos, livros ou revistas disponíveis na internet ou em portais acadêmicos. Além de pesquisa de campo através de entrevistas com profissionais que atuam em minerações de pequeno e médio porte no Brasil.

Quanto à abordagem: qualitativa - leitura e interpretação dos dados obtidos nas pesquisas bibliográficas e pesquisas de campo qualitativas, sem métodos numéricos ou estatísticos para análise dos resultados.

Quanto ao método: hipotético-dedutivo. A partir das pesquisas bibliográficas, pesquisas de campo e breves estudos de caso, serão obtidas informações para extrair conclusões sobre a visão e situação geral de inovação dos mercados e minerações de pequeno e médio porte no Brasil. Principalmente em relação às tecnologias da mineração 4.0. Com essas conclusões, serão formuladas hipóteses para solucionar eventuais questões levantadas.

Quanto ao procedimento: pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo para estudo de mineradoras e empresas cujos colaboradores foram entrevistados.

4.2 Descrição das Etapas de Trabalho

4.2.1 Pesquisa Bibliográfica

A etapa inicial se trata de uma pesquisa bibliográfica baseada principalmente nas plataformas Elsevier e Google Scholar, além de alguns sites e revistas digitais. O objetivo era esclarecer principalmente os tópicos: inovação na mineração brasileira; indústria 4.0 e suas tecnologias; mineração 4.0 e suas tecnologias; dificuldades para a inovação na mineração brasileira.

O material possibilitou uma compreensão ampla acerca dos tópicos mencionados, porém com uma visão mais distante e menos específica, principalmente a respeito de pequenas e médias mineradoras. Para conseguir uma maior profundidade e proximidade de casos reais de minerações brasileiras, foi optado por realizar algumas entrevistas com profissionais que trabalham em minerações de pequeno e médio porte no Brasil. As perguntas direcionam o entrevistado a fazer uma análise geral dos tópicos estudados neste trabalho.

4.2.1 Pesquisa de Campo

As entrevistas foram realizadas através de chamadas online ou ligações por telefone devido ao contexto da pandemia de COVID-19, que gerou dificuldades e inseguranças para encontros presenciais. Foram realizadas perguntas abertas, sem alternativas de respostas pré definidas. Dessa forma o entrevistado foi permitido a dissertar livremente sobre os tópicos abordados, podendo também adicionar outros pontos que julgasse interessantes sobre o assunto.

4.3 Entrevistas

No início das conversas foram revisadas algumas tecnologias de Mineração 4.0 em aplicação no Brasil e no mundo, para orientar o entrevistador a fazer uma abordagem mais ampla e completa acerca das tecnologias enfocadas neste trabalho. Sendo elas:

- Drones para controle topográfico da mina, para controle de avanço das frentes de lavra e mapear perfurações
- IoT para acesso remoto aos equipamentos do processo e ajustes à distância, além de permitir gestão à vista em tempo real
- Big Data Analytics e Business Intelligence com IA e Machine Learning
- Computação em Nuvem

Tabela 5 - Perguntas realizadas aos entrevistados.

Perguntas
1. Qual a sua avaliação da seguinte frase: “As tecnologias da mineração 4.0 estão aos poucos se tornando mais comuns no Brasil e serão um caminho sem retorno para o setor”.
2. Você acredita que as tecnologias da mineração 4.0 citadas podem trazer ganhos competitivos importantes para mineradoras de pequeno e médio porte no contexto do Brasil?
3. Além das tecnologias mencionadas da mineração 4.0, quais outras inovações seriam relevantes para o contexto de pequenas e médias mineradoras no Brasil?
4. Atualmente existem projetos para implementação dessas tecnologias 4.0 na mineração onde trabalha? Se não, há projetos de algum outro tipo de inovação? - Poderia comentar sobre as tecnologias utilizadas em outras minerações do mesmo setor?
5. Como você vê o cenário de inovação e tecnologia a médio e longo prazo (10 a 20 anos) para mineradoras de pequeno e médio porte no Brasil? Acredita que haverá uma disseminação de tecnologias 4.0? Quais as principais dificuldades para esses avanços?

Fonte: Elaboração própria.

Foram procurados quatro profissionais para a etapa de pesquisa de campo, que se realizou em formato de entrevistas. Todos os quatro procurados tiveram disponibilidade para as conversas. Eles ocupam cargos de engenheiros de mina, diretores e consultores, a seguir a relação das minerações dos entrevistados:

Tabela 6 - Minerações onde trabalham os entrevistados

Mina	Entrevistado	Produto	Região
A	Engenheiro de Minas	Calcário	Interior de Goiás
B	Engenheiro de Minas	Brita	Grande São Paulo
C	Engenheiro e Consultor	Areia	Grande São Paulo
D	Diretor	Calcário	Interior de São Paulo

Fonte: Elaboração própria.

Finalmente, será feita uma análise qualitativa dos resultados das entrevistas para avaliar os benefícios potenciais da adoção de tecnologias da mineração 4.0 na mineração de pequeno e médio porte. Além disso, espera-se obter a visão desses profissionais sobre o grau de acesso que pequenas e médias mineradoras têm às tecnologias 4.0, sobre quão inovadores são esses empreendimentos e quais as dificuldades e desafios para implementação de novas tecnologias em geral.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As perguntas realizadas têm o propósito de investigar alguns pontos como:

- Quão relevantes são as tecnologias da mineração 4.0 para pequenas e médias mineradoras no Brasil na visão dos entrevistados e qual o nível de interesse que eles têm;
- Qual o grau de maturidade e implementação dessas mineradoras em relação a essas tecnologias;
- Quais as dificuldades para implementar essas tecnologias;

5.1 Exposição dos dados das entrevistas

A seguir estão transcritas as respostas com algumas adaptações e correções para se ter maior objetividade e foco. As entrevistas não tiveram um formato muito estrito ou rígido, e em alguns casos a conversa abordou algumas outras informações interessantes, não previstas, mas que agregaram para o propósito do trabalho.

Acredita-se que é natural que as conversas não tenham ficado totalmente restritas ao escopo das perguntas e que isso não prejudicou a qualidade das informações, pelo contrário, possibilitou conversas mais fluidas e amplas para compreender a visão real das pessoas entrevistadas acerca do tema.

5.1.1 Entrevistado da Mina A - Mina de calcário:

1. Qual a sua avaliação da seguinte frase: “As tecnologias da mineração 4.0 estão aos poucos se tornando mais comuns no Brasil e serão um caminho sem retorno para o setor”.

Acredita que essas tecnologias colaboram e mitigam o tempo, mas não vê como uma tendência forte. Formada no Tocantins, lá existe uma rota de calcário, assim como a rota da qual a mineração onde trabalha faz parte. Avalia que o contexto das minerações da região está distante da aplicação dessas tecnologias. Quando o problema não é financeiro, há problema de mentalidade dos gestores, são empresas tradicionais.

Em Tocantins, por exemplo, só há uma mina de grande porte.

2. Você acredita que as tecnologias da mineração 4.0 citadas acima podem trazer ganhos competitivos importantes para mineradoras de pequeno e médio porte no contexto do Brasil?

Drones para topografia, desmontes, perfilagem: é uma tecnologia que já é comum, mesmo em minerações de porte médio e pequeno e que não costumam investir muito em inovação. Já é possível contratar empresas que fornecem o serviço, sem precisar que um trabalhador da mina seja treinado para utilizar a tecnologia.

A automação de usinas de beneficiamento já é aplicada em algumas minerações de calcário de médio porte na região. Porém não em um grau avançado em que os dados obtidos podem ser utilizados para auto configuração dos equipamentos em tempo real. Seria uma aplicação intermediária, que facilita o controle dos parâmetros chave para controle do processo.

3. Além das tecnologias mencionadas da mineração 4.0, quais outras inovações seriam relevantes para o contexto de pequenas e médias mineradoras no Brasil?

Em minas de calcário não se utiliza muita inovação nem muita tecnologia..

Acredita que se tem dificuldades extras por ser uma extração de mineral de menor valor agregado.

“Minerais metálicos, por exemplo, costumam ter maior valor agregado e naturalmente já exigem maiores investimentos para seu beneficiamento“

4. Atualmente existem projetos para implementação dessas tecnologias 4.0 na mineração onde trabalha? Se não, há projetos de algum outro tipo de inovação? - Poderia comentar sobre as tecnologias utilizadas em outras minerações do mesmo setor?

Na mineração onde trabalha é feito o avanço de lavra com drones através de empresas contratadas por preços acessíveis.

Não se utilizam softwares de planejamento de lavra, apesar de achar que é viável, porém acredita que a barreira é por questão de mentalidade.

Atualmente na mineração onde trabalha o planejamento de lavra é mais por desenhos manuais ou de softwares CAD.

5. Como você vê o cenário de inovação e tecnologia a médio e longo prazo (10 a 20 anos) para mineradoras de pequeno e médio porte no Brasil? Acredita que haverá uma disseminação de tecnologias 4.0? Quais as principais dificuldades para esses avanços?

Acredita que algumas tecnologias baratas e de simples implementação como o drone seriam amplamente utilizadas.

Planejamento da lavra por softwares, painéis de controle para ajuste de equipamentos de processos à distância (porém não autônomos)

Explosivo bombeado seria um avanço tecnológico importante para as pequenas mineradoras (porém não se inclui em 4.0).

Avanços nas tecnologias de moinhos e britadores.

Uma das maiores barreiras é a mudança de mentalidade dos trabalhadores e gestores. Já existe acesso a tecnologias a custo viável, porém no contexto da região onde trabalha, a cultura é muito tradicional e há resistências a mudanças estruturais.

5.1.2 Entrevistado da Mina B - Pedreira de brita:

1. Qual a sua avaliação da seguinte frase: “As tecnologias da mineração 4.0 estão aos poucos se tornando mais comuns no Brasil e serão um caminho sem retorno para o setor”.

As tecnologias da mineração 4.0 atualmente também estão disponíveis para pequenas e médias empresas no Brasil. Concorde que é um caminho sendo trilhado por todos os nichos. O progresso é lento mas é contínuo e há uma tendência de democratização dessas tecnologias.

2. Você acredita que as tecnologias da mineração 4.0 citadas acima podem trazer ganhos competitivos importantes para mineradoras de pequeno e médio porte no contexto do Brasil? (como: - produto mais barato; - melhoria de qualidade do produto; - redução de impacto ambiental etc.)

Sim, dentre as principais vantagens é acelerar os processos. Tecnologias de análises de dados e predição não são investimentos que requerem grandes montantes de dinheiro em equipamentos caros e muitas vezes nem implementando novas infraestruturas, que podem chegar a ordens de grandeza de milhões.

Investimentos em tecnologias de análises de dados na verdade aprimoram a infraestrutura já existente. Isso traz uma grande vantagem competitiva

3. Além das tecnologias mencionadas da mineração 4.0, quais outras inovações seriam relevantes para o contexto de pequenas e médias mineradoras no Brasil?

A computação em nuvem ainda é pouco utilizada. Reduz custos com servidor, tanto infraestrutura quanto manutenção, acelera o desempenho de computação para consultas de dados.

Dificuldades para implementação dessa tecnologia seriam mudanças muito drásticas no sistema atual da empresa. Novas formas de armazenamento, grandes mudanças de governança e desconfianças quanto à segurança e estabilidade. Trata-se de uma mudança muito estrutural que poderia gerar grandes desconfortos para muitas pessoas na equipe que tenderiam a resistir a essa implementação.

O 4g também é uma dificuldade para pequenas e médias, mas existem alguns métodos paliativos, como algoritmos para atualizar dados quando há a disponibilidade de sinal - supondo uma situação em que o sinal irá oscilar bastante e passará longos períodos sem conexão.

4. Atualmente existem projetos para implementação dessas tecnologias 4.0 na mineração onde trabalha? Se não, há projetos de algum outro tipo de inovação? - Poderia comentar sobre as tecnologias utilizadas em outras minerações do mesmo setor?

Utilizam as seguintes tecnologias: IoT é usado para monitorar frota de transportes. Utilizam Big Data analytics - Business Intelligence - Power BI - acompanhamento de KPIs como produtividade, custos etc. Levantamento topográfico por drone. Consegue fazer o mapeamento da face da bancada, para planejamento do fogo, distribuição e quantidade de perfurações. Cruzando dados do mapeamento por drone com o laser profiling dos furos, é possível obter o afastamento real dos furos, para evitar ultra lançamentos, distribuindo a energia dos explosivos de maneira mais eficaz e segura.

Uma das unidades da empresa tem uma planta toda automatizada, com diversos sensores espalhados pela britagem, onde é possível evitar a entrada de material de granulometria acima da especificação. Sensores de materiais magnéticos para evitar travamento de britadores etc. Monitoramento de pressão, de temperatura de pneus para poder fazer manutenção preditiva por exemplo. Um projeto em desenvolvimento atual: machine learning para prever vibração no desmonte para cumprir normas ambientais.

5. Como você vê o cenário de inovação e tecnologia a médio e longo prazo (10 a 20 anos) para mineradoras de pequeno e médio porte no Brasil? Acredita que haverá uma disseminação de tecnologias 4.0? Quais as principais dificuldades para esses avanços?

Uma das grandes dificuldades serão os gestores aceitarem sair da caixinha. A pressão para mudanças já existe. As empresas que não inovarem perderão competitividade. Talvez uns 10 a 15 anos para mudanças significativas.

Para o contexto da própria empresa onde trabalha, ele espera uma demora de uns 10 anos. Os produtos são de difícil acesso para pequenas e médias empresas. O mercado em geral ainda foca mais os seus produtos para “players” maiores, o que acarreta em menor acessibilidade e maiores preços.

Ele vê que já existe bastante procura por parte de pequenas e médias empresas, porém a oferta das tecnologias e produtos ainda não é muito ampla, é pouco acessível e caro.

“Quem começar a se mexer agora vai se colocar em uma posição razoável somente em uns 10 a 15 anos”. - Portanto é essa a janela média de implementação dessas tecnologias que ele enxerga.

Um exemplo que ilustra a situação atual no Brasil: caminhões autônomos são uma tecnologia de indústria 3.0, porque ainda nem se trata de análise massiva de dados nem inteligência artificial para gestão autônoma de alguma operação. E ainda assim é uma tecnologia que ainda é muito rara no Brasil.

5.1.3 Entrevistado da Mina C - Mina de areia:

1. Qual a sua avaliação da seguinte frase: “As tecnologias da mineração 4.0 estão aos poucos se tornando mais comuns no Brasil e serão um caminho sem retorno para o setor”.

Concorda com o ponto da frase, porém com menos relevância para pequenas mineradoras, por falta de conhecimento tecnológico e operacional.

2. Você acredita que as tecnologias da mineração 4.0 citadas acima podem trazer ganhos competitivos importantes para mineradoras de pequeno e médio porte no contexto do Brasil?

Vê ganhos competitivos importantes em barateamento do produto, melhora de qualidade e redução de impactos ambientais, porém ainda ressalta que a pequena mineradora teria significantes dificuldades na implementação dessas tecnologias. Menciona que o setor de agregados para construção civil, como areia e brita tem muito a ganhar em qualidade de produto com essas tecnologias.

Vê ganhos importantes na redução de impacto ambiental e controle de produção, por haver uma grande quantidade de dados gerados e que estão disponíveis online, ou seja a conectividade e integração trazem grandes benefícios para a visibilidade e processamento desses dados.

3. Além das tecnologias mencionadas da mineração 4.0, quais outras inovações seriam relevantes para o contexto de pequenas e médias mineradoras no Brasil?

Automação dos sistemas e instalação de sensores. Essas são tecnologias base para permitir uma coleta de grande volume de dados de processo de maneira confiável. Caso não haja confiabilidade nos dados, as análises e processamentos podem trazer conclusões erradas. Quando pessoas coletam os dados de operação, há índices de erros muito maiores, portanto ele vê esse avanço como um ponto central dessas tecnologias.

Um exemplo mencionado são sistemas de controle de alimentação de britadores e moedores. Os sensores coletam os dados, que são processados e acionam mecanismos para auto regulação do processo de maneira autônoma, sem intervenção de pessoas. Inclusive já presentes hoje em algumas médias minerações.

4. Atualmente existem projetos para implementação dessas tecnologias 4.0 na mineração onde trabalha? Se não, há projetos de algum outro tipo de inovação? - Poderia comentar sobre as tecnologias utilizadas em outras minerações do mesmo setor?

Nas mineradoras onde conduziu projetos tem visto a automação de processos de usina como “carro chefe”. A implementação de sensores inteligentes que são capazes de acionar mecanismos automaticamente para o ajuste automático em tempo real de alguns processos da usina.

São gerados também dados para visualização de resultados e tomadas de decisões de negócios.

Todas essas informações são referentes a minerações de areias, argilas e britas, ou seja, agregados para construção civil. Ele vê que a margem de ganhos nesse setor é muito justa, portanto essas tecnologias são muito convenientes para esse setor.

5. Como você vê o cenário de inovação e tecnologia a médio e longo prazo (10 a 20 anos) para mineradoras de pequeno e médio porte no Brasil? Acredita que haverá

uma disseminação de tecnologias 4.0? Quais as principais dificuldades para esses avanços?

Vê que há uma tendência forte de avanços dessas tecnologias nos próximos 10 a 20 anos, inclusive começando a se tornar uma realidade para pequenas e médias mineradoras também. Ainda seria uma realidade embrionária, mas está vendo um progresso. Inclusive menciona operação remota de usinas como um exemplo que acredita que será bastante disseminado. Com implementação de big data, inteligência artificial para processamento dos grandes volumes de dados.

Ele vê como as maiores barreiras os custos das tecnologias e o custo de mão de obra qualificada para implementá-las. Uma barreira seria a mentalidade de gerações mais antigas que estão na gestão de muitas empresas no momento, mas o entrevistado vê que estamos num momento de transição.

5.1.4 Entrevistado da Mina D - Mina de calcário:

1. Qual a sua avaliação da seguinte frase: “As tecnologias da mineração 4.0 estão aos poucos se tornando mais comuns no Brasil e serão um caminho sem retorno para o setor”.

Concorda que é uma tendência e que as mudanças que provocará não terão retorno.

2. Você acredita que as tecnologias da mineração 4.0 citadas acima podem trazer ganhos competitivos importantes para mineradoras de pequeno e médio porte no contexto do Brasil?

Acredita que os ganhos são importantes, mas no seu contexto vê uma cadeia de produção precária no momento e vê que o setor ainda tem algumas prioridades a avançar no momento.

3. Além das tecnologias mencionadas da mineração 4.0, quais outras inovações seriam relevantes para o contexto de pequenas e médias mineradoras no Brasil?

Afirmou que certas mudanças em ferramentas de legislação poderiam ter grandes impactos positivos para pequenas e médias mineradoras.

4. Atualmente existem projetos para implementação dessas tecnologias 4.0 na mineração onde trabalha? Se não, há projetos de algum outro tipo de inovação? - Poderia comentar sobre as tecnologias utilizadas em outras minerações do mesmo setor?

Mencionou a tecnologia de drones para controle de avanço de lavra e mapeamento de perfurações.

5. Como você vê o cenário de inovação e tecnologia a médio e longo prazo (10 a 20 anos) para mineradoras de pequeno e médio porte no Brasil? Acredita que haverá uma disseminação de tecnologias 4.0? Quais as principais dificuldades para esses avanços?

Visualiza uma evolução relevante na infraestrutura em geral, mas para o seu setor as tecnologias de mineração 4.0 mais focadas em dados, comunicação e processamento não seriam a maior prioridade.

5.2 Análise qualitativa dos dados

5.2.1 Análise inicial

Analisando o rumo geral de cada entrevista, é possível perceber um contraste de contexto entre alguns entrevistados, principalmente devido à região onde se encontra a mina. Em regiões mais remotas, onde o mercado do produto é menos desenvolvido e a infraestrutura está mais atrasada, é possível notar que a visão do entrevistado é mais pessimista com relação à implementação de tecnologias da mais recente revolução industrial.

Porém mesmo dentro de regiões desenvolvidas, existem minerações que estão mais para trás em nível de inovação, assim como existem exceções nas regiões mais afastadas de grandes mercados, mas as tendências se confirmam.

Há também uma percepção geral entre os entrevistados de que a inovação costuma ser mais difícil para empreendimentos de menor porte, que não têm muitas assistências no Brasil e com seus recursos limitados precisam focar em prioridades mais imediatistas.

Alguns reconhecem os grandes ganhos potenciais que essas tecnologias podem trazer e possuem um certo conhecimento a respeito do funcionamento delas e já trabalharam em projetos que implementam algumas delas. Porém outros não estão muito acostumados com essas tecnologias em suas rotinas e não visualizam muito bem como seriam os ganhos que elas trariam e vêem outras prioridades a frente.

5.2.2 Análise por pergunta

A seguir será feita uma análise detalhada das respostas dos entrevistados por pergunta, para extrair um conhecimento do que cada pergunta possibilitou visualizar.

1. Qual a sua avaliação da seguinte frase: “As tecnologias da mineração 4.0 estão aos poucos se tornando mais comuns no Brasil e serão um caminho sem retorno para o setor”.

A maioria concordou com o fato de que é uma tendência e um caminho que está sendo trilhado, porém alguns foram mais cautelosos com relação às minerações de pequeno porte, afirmando que estas têm dificuldade para acessar as tecnologias e ainda terão por algum tempo.

Outro porém afirmou com mais certeza de que as mineradoras pequenas já têm acesso hoje a algumas dessas tecnologias e afirmou que elas não estão entre as tecnologias mais caras, pois não são novos investimentos em infraestrutura, são na verdade investimentos para aprimorar a infraestrutura existente e isso seria um grande diferencial dessas tecnologias.

Mas também houve uma resposta mais pessimista, baseada no seu contexto e visão geral das empresas ao seu redor, o entrevistado acredita que as minerações daquela região possuem outras prioridades no momento.

2. Você acredita que as tecnologias da mineração 4.0 citadas acima podem trazer ganhos competitivos importantes para mineradoras de pequeno e médio porte no contexto do Brasil?

Todos reconhecem o potencial de ganhos competitivos trazidos por essas tecnologias, mencionam que podem acelerar processos, reduzir custos, aumentar a confiabilidade de dados e informações sobre os processos e resultados da mineração. Com essa confiabilidade se tornaria possível implementar métodos de análise de dados e gerar conhecimento para embasar tomadas de decisões estratégicas que podem trazer vantagens importantes no mercado. Ainda mencionam que setores onde as margens de lucro são muito justas (como agregados para construção civil próximos a grandes centros) há muito potencial para melhora de qualidade e ampliação dos lucros.

- A seguir foram agrupadas as perguntas 3 e 4, pois as respostas foram muito relacionadas:

3. Além das tecnologias mencionadas da mineração 4.0, quais outras inovações seriam relevantes para o contexto de pequenas e médias mineradoras no Brasil?

&

4. Atualmente existem projetos para implementação dessas tecnologias 4.0 na mineração onde trabalha? Se não, há projetos de algum outro tipo de inovação? - Poderia comentar sobre as tecnologias utilizadas em outras minerações do mesmo setor?

Existe uma grande diversidade de tecnologias de mineração 4.0 no mercado e elas variam muito em custos, vantagens e barreiras de implementação. Curiosamente, uma

tecnologia que está muito presente nos mais diversos portes de minerações e diferentes regiões é o drone utilizado para controle de frente de lavra e mapeamento de perfurações. De acordo com os entrevistados, é uma tecnologia que traz ganhos significativos e possui custo reduzido, além de haver grande oferta de empresas que fornecem o serviço. Dessa forma não é necessário o empenho em qualificação de pessoas para operar a tecnologia.

Porém tecnologias como IoT para monitoramento da frota de transporte já são menos comuns, apesar de já estarem presentes em algumas médias minerações. Usinas de beneficiamento de minério capazes de monitoramento e regulagem autônomas já são realidade em algumas minerações de médio porte.

Outra tecnologia que está presente, mas não de forma tão recorrente é o uso de fato de Big Data Analytics e ferramentas de Business Intelligence. Essas tecnologias já exigem que a usina esteja muito bem equipada com sensores inteligentes e interconectados para coleta de grande quantidade de dados confiáveis para então serem processados.

5. Como você vê o cenário de inovação e tecnologia a médio e longo prazo (10 a 20 anos) para mineradoras de pequeno e médio porte no Brasil? Acredita que haverá uma disseminação de tecnologias 4.0? Quais as principais dificuldades para esses avanços?

Essa é a resposta que apresenta maior variância entre os entrevistados. Aqueles presentes em contextos de mercados menos desenvolvidos acreditam que somente as tecnologias mais simples e baratas serão implementadas no prazo mencionado da pergunta. Pois, ainda teriam algumas tecnologias menos avançadas que não são utilizadas e têm prioridade. Portanto, em relação a barreiras de inovação, foi dado um peso importante à falta de recursos e mão de obra capacitada, assim como também é mencionada a questão da cultura de trabalho e mudanças de mentalidade da gestão atual como dificuldade.

Já os entrevistados presentes em contextos de mercados mais desenvolvidos e com melhor infraestrutura são mais otimistas, acreditam que na janela de tempo mencionada os progressos serão significativos, inclusive para mineradoras de menor porte. A questão levantada é que hoje já existe procura dessas empresas pelas tecnologias, porém o mercado ainda está mais focado em criar e fornecer essas tecnologias para empresas maiores, portanto apontam como barreira significante a questão dos interesses dos vendedores de tecnologias. Porém, outra barreira muito importante é a resistência a mudanças, que retarda as inovações, portanto ainda há um ciclo de trocas de gestores para se cumprir.

5.2.3 Análise das barreiras de inovação

As principais barreiras para inovação levantadas pelos entrevistados foram:

- Mentalidade resistente à mudança
- Capacitação de mão de obra
- Custos da implementação
- Pressão de produção
- Oferta da tecnologia
- Falta de cultura inovadora
- Isolamento geográfico

Analisando a tabela 3, é possível selecionar algumas barreiras que se encaixam no contexto dessas mineradoras, mas que não foram mencionadas:

- Falta de difusão de informações
- Falta de rede de contatos

Acima há dois pontos semelhantes que parecem influenciar bastante se uma mineração será capaz de inovar ou não, mas que não foram mencionados pelos entrevistados. A primeira vista pode não parecer óbvio para eles, porém não é coincidência que as minerações com tecnologias mais avançadas estão mais próximas de grandes centros, que são capazes de fornecer mais fontes de conhecimentos, recursos humanos e até exemplos bem sucedidos.

Porém, apesar de não visualizarem algumas barreiras, a quantidade identificada foi significativa e demonstra que os entrevistados têm boa noção das barreiras que os cercam e mesmo assim parecem ter dificuldades em superá-las.

6. CONCLUSÕES

Ao visualizar o contexto geral da mineração na década atual, se confirma que existem fortes pressões para que as empresas desse setor agreguem inovação e se reinventem. Dentre elas está a realidade do mercado de commodities internacional, que apresentou abrupta interrupção de crescimento de demanda e por consequência redução de preços. Além da entrada de novos fortes competidores no mercado. Portanto com essas dinâmicas, empreendimentos mais antiquados terão problemas para se manterem viáveis.

Outra pressão muito forte por inovação é a agenda de sustentabilidade, que nas últimas décadas vem ganhando cada vez mais forças e afeta também o mercado interno brasileiro, inclusive menores minerações. E um dos principais alvos de críticas dessas agendas é o setor de mineração, que está muito exposto nos últimos anos. Portanto, para mudar a visão do setor perante a sociedade há necessidade de inovação para encontrar soluções para os impactos ambientais e sociais causados pelas minerações.

Foram realizadas pesquisas bibliográficas e entrevistas com profissionais de mineração diretamente envolvidos nos projetos onde são implementadas inovações ou são perdidas oportunidades importantes. A partir da coleta e análise desses dados é possível compreender melhor qual o nível de conhecimento de pequenas e médias mineradoras a respeito de tecnologias de mineração 4.0, qual o seu grau de interesse nelas, quão presentes estão nesses empreendimentos e quais as maiores dificuldades para implementá-las quando há interesse.

Em geral os entrevistados apresentaram pelo menos um conhecimento superficial dessas tecnologias e reconhecem que essas têm um potencial positivo para os seus empreendimentos. Porém algumas delas não apresentam tanto interesse imediato nessas tecnologias devido ao fato de acharem que não são prioridades no momento.

Possivelmente há influência do contexto em cada mineração a respeito de: conhecimento acerca das tecnologias de mineração 4.0, interesse em implementar, o quanto já é implementado no momento e a visão das dificuldades para implementação.

Minerações que estão presentes em regiões de mercados mais desenvolvidos e mais providos de infraestrutura aparentam contrastar com minerações distantes desse contexto. As primeiras apresentaram grande interesse nessas tecnologias e já estão em caminho de implementação, mesmo as pequenas mineradoras já estão dando seus primeiros passos. Porém, as segundas não apresentam o mesmo ânimo e existe a possibilidade que, nos seus contextos, as barreiras para inovação se acumulam e se potencializam.

Portanto o Brasil é um país de escalas continentais e possui uma enorme diversidade de cenários de nível de desenvolvimento das minerações, o que pode se refletir diretamente no quanto elas inovam e no quanto consomem novas tecnologias. O porte da mineração é um fator importante para a capacidade que a empresa tem para inovar, porém existe outro fator que apresentou um potencial de relevância. Esse fator seria o contexto geral em que aquela mineração está inserida, as barreiras podem se

somar e se potencializar. Enquanto algumas se apresentaram em nível de inovação comparados a mercados internacionais, outras aparentam utilizar recursos tecnológicos não muito atualizados, de acordo com as melhores práticas atuais.

7. REFERÊNCIAS

A IMPORTÂNCIA de se investir em tecnologia e inovação. Revista Brasil Mineral. Ano XXXV, n.387, p.20-21. jan/fev. 2019. Disponível em <<https://www.brasilmineral.com.br/revista/387/>> Acesso 10 de maio de 2021.

Ankit Singh, Dheeraj Kumar, Jürgen Hötzel, IoT Based information and communication system for enhancing underground mines safety and productivity: Genesis, taxonomy and open issues, Ad Hoc Networks, Volume 78, 2018, Pages 115-129, ISSN 1570-8705

ARBIX, GLAUCO et al. O BRASIL E A NOVA ONDA DE MANUFATURA AVANÇADA: O que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. Novos estud. CEBRAP [online]. 2017, vol.36, n.3 [cited 2021-05-10], pp.29-49.

Avila, T.P. and Quelhas, O.L.G., Análise da Integração do Modelo de Gestão de Eventos ao Sistema de Gestão Organizacional: O Caso da Incorporação de Tecnologia 4.0 em Empresa Mineradora, pp.1-388.

BARTNITZKI, Thomas. "Mining 4.0-importance of industry 4.0 for the raw materials sector." Artificial Intelligence 2 (2017): M2M.

BASSETO, Ana Laura Canassa et al. Modelo de maturidade para a análise das indústrias no contexto da indústria 4.0. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CERIBELI, H. B., & Aguiar, P. H. M. F. D. (2015). Sistemas de automação a serviço da gestão do conhecimento: um estudo de caso no setor de mineração.

CHAVES, Arthur Pinto. Inovação Tecnológica na Mineração. Geo Krigagem, 2018. Disponível em: <<https://geokrigagem.com.br/inovacao-tecnologica-na-mineracao/>>. Acesso em: 9 de novembro de 2021.

DOS SANTOS, Andrea Pinheiro; BARBOSA, Ricardo Rodrigues. Desafios da mobilidade corporativa para a Gestão da Informação e do Conhecimento. Informação & Sociedade, v. 21, n. 2, 2011.

Equipment Selection - MPES 2019. MPES 2019. Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. Springer, Cham.

FMI – FUNDO MONETÁRIO INTERNACIONAL. IMF Primary Commodity Prices. Monthly Data. 2021. Disponível em: <<http://www.imf.org/external/np/res/commod/index.aspx>>. Acesso em 21 de novembro de 2021.

GRUENHAGEN, J. H.; PARKER, R. Factors driving or impeding the diffusion and adoption of innovation in mining: A systematic review of the literature. Resources Policy, v. 65, 202

HUMPHREYS, D. Mining productivity and the fourth industrial revolution. Mineral Economics, 2019

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Economia Mineral do Brasil. 2018. Disponível em: <<https://portaldamineracao.com.br/wp-content/uploads/2018/02/economia-mineral-brasil-mar2018-1.pdf?x73853>>. Acesso em: 20 Jun. 2020.

Kagiso S. More, Christian Wolkersdorfer, Ning Kang, Adel S. Elmaghraby, Automated measurement systems in mine water management and mine workings – A review of potential methods, Water Resources and Industry, Volume 24, 2020, 100136, ISSN 2212-3717

LÖÖW Joel; ABRAHAMSSON Lena; JOHANSSON Jan - Mining 4.0—the Impact of New Technology from a Work Place Perspective.

MACHADO, J. I. Development of low-cost alternative for the monitoring of the ore hauling production indicators in small-scale mining. 2020.

MESQUITA, Pedro Paulo Dias; CARVALHO, Pedro Sérgio Landim de; OGANDO, Laura Duarte. Desenvolvimento e inovação em mineração e metais. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.43 , p. [325]-361, mar. 2016.

MINING HUB. Belo Horizonte. Apresenta os programas realizados, números alcançados e parceiros. Disponível em <<https://www.mininghub.com.br/pb>>. Acesso em 21 de novembro de 2021.

Mudanças na lei podem tornar o setor mais atrativo. Revista Brasil Mineral. Ano XXXVI, n,392, p.6-19. jul. 2019d. Disponível em <<https://www.brasilmineral.com.br/revista/392/>> Acesso 10 de maio de 2021.

Nanda N.K. (2020) Intelligent Enterprise with Industry 4.0 for Mining Industry. In: Topal E. (eds) Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and

NETO, Euler. "Os impactos da Indústria 4.0 na mineração." Universidade Federal de Uberlândia (2019).

PANORAMAS SETORIAIS 2030 MINERAÇÃO E METALURGIA. Disponível em <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/14255/2/Panoramas%20Setoriais%202030%20-%20Minera%C3%A7%C3%A3o%20e%20Metalurgia_P.pdf> Acesso em 16 de julho de 2021.

Sishi, M. and Telukdarie, A. (2020) ‘Implementation of Industry 4.0 technologies in the mining industry – a case study’, Int. J. Mining and Mineral Engineering, Vol. 11, No. 1, pp.1–22.

Top 10 Trends transforming the future of mining. Mining Global Magazine. p.84-97, abr. 2019e. Disponível em <<https://miningglobe.com/magazine/mining-global-april-2019>> Acesso 19 de julho de 2021.

TECHNOLOGY FUTURES ANALYSIS METHODS WORKING GROUP et al. Technology futures analysis: Toward integration of the field and new methods. Technological Forecasting and Social Change, v. 71, n. 3, p. 287-303, 2004.

WEYER, S., Schmitt M., Ohmer M. and Gorecky D. Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems, nIFAC-PapersOnLine, Volume 48, Issue 3, 2015, Pages 579-584, ISSN 2405-8963

ZUCOLOTO, G. F.; NOGUEIRA, M. O. A dinâmica inovativa das empresas de pequeno porte no Brasil. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada - Ipea, 2016.