

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
MINAS GERAIS- CAMPUS OURO BRANCO

CURSO BACHARELADO EM ADMINISTRAÇÃO

Jeane de Fátima Santos

INDUSTRIA 4.0 EFEITOS NA PRODUTIVIDADE E EFICIENCIA  
OPERACIONAL NA MINERAÇÃO

OURO BRANCO

2026

---

***Curso Bacharelado em Administração***

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

***Campus Ouro Branco***

JEANE DE FÁTIMA SANTOS

INDUSTRIA 4.0 EFEITOS NA PRODUTIVIDADE E EFICIENCIA  
OPERACIONAL NA MINERAÇÃO

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Administração do Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Ouro Branco para obtenção do grau de bacharel em Administração. Orientadora: Iáisa Helena Magalhães Pereira.

OURO BRANCO

2026

***Curso Bacharelado em Administração***

---

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

***Campus Ouro Branco***

S2371 Santos, Jeane de Fátima.

Industria 4.0 efeitos na produtividade e eficiência operacional na mineração. / Jeane de Fátima Santos. – 2026.

21f..il.col.

Orientadora: Iaísa Helena Magalhães Pereira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Administração) – Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Branco, 2026.

Industria 4.0. 2. Mineração. 3. Administração. 4. Operacional. 5. Produção. I. Pereira, Iaísa Helena Magalhães. II. Instituto Federal de Minas Gerais. *Campus* Ouro Branco. III, Título.

CDU: 622.3

---

Catálogo: Márcia Margarida Vilaça - CRB-6/2235

Biblioteca do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus* Ouro Branco

---

**Curso Bacharelado em Administração**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS

***Campus* Ouro Branco**

## DOCUMENTO ÚNICO DE DEFESA DE TCC (ANEXO II)

### ATA DA DEFESA DE TCC

No dia 22 / 01 /2026 , às 11 : 30 horas, o aluno Jeane de Fátima Santos do curso de Bacharelado em Administração do IFMG – Campus Ouro Branco, defendeu o Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) e foi aprovada (aprovado / reprovado / não compareceu) com a nota 90, que está condicionada ao cumprimento dos procedimentos pós-defesa do TCC. Caso seja aprovado, deverá apresentar o trabalho com as devidas modificações e no formato solicitado em 26 / 01 /2026.

O aluno está ciente de que, caso não cumpra os procedimentos pós-defesa de TCC até a data estipulada, sua nota será considerada zero e a sua defesa será anulada. Também está ciente de que o trabalho de conclusão de seu curso poderá ser divulgado pela Instituição através dos seus meios de comunicação.

Observações pertinentes à defesa:

• 18 apresentações  
• 27 acertos

### DECLARAÇÃO ANTI-PLÁGIO

Eu, Jeane de Fátima Santos, estudante do curso Bacharelado em Administração do IFMG – Campus Ouro Branco, declaro, para os devidos fins e efeitos, e para fazer prova junto ao IFMG – Campus Ouro Branco, que, sob as penalidades previstas no art. 299 do Código Penal Brasileiro, que é de infração criada o trabalho de conclusão de curso que ora apresento.

**Art. 299 do Código Penal Brasileiro, que dispõe sobre o crime de Falsidade Ideológica:**

“Omitir, em documento público ou particular, declaração que dele devia constar, ou nele inserir ou fazer inserir declaração falsa ou diversa de que devia estar escrita, com o fim de prejudicar direito, criar obrigação ou alterar verdade sobre fato juridicamente relevante;

Pena – reclusão, de 1 (um) a 5 (cinco) anos, e multa, se o documento é público, e reclusão de 1 (um) a 3 (três) anos, e multa, se o documento é particular.

Parágrafo único. Se o agente é funcionário público, e comete o crime prevalecendo-se do cargo, ou se a falsificação ou alteração é de assentamento de registro civil, aumenta-se a pena de sexta parte.”

Este crime engloba plágio e compra fraudulenta de documentos científicos.

Por ser verdade, e por ser ciência do referido artigo, firmo a presente declaração.

Assinatura do aluno: \_\_\_\_\_

### NOME COMPLETO E ASSINATURA DOS COMPONENTES DA BANCA E DO ORIENTADO

Orientador: Nome: Isaia Helena Magalhães

Assinatura: Isaia Helena Magalhães P.

Membro 2: Nome: Franco Marcon Resende Barros

Assinatura: Franco Barros

Membro 3: Nome: Pedro Xavier da Penha

Assinatura:  PEDRO XAVIER DA PENHA  
CPF: 12.011.7108 373820-0900  
verifique em: https://verifica.ifmg.br

Aluno: Nome: Jeane de Fátima Santos

Assinatura:  JEANE DE FATIMA SANTOS  
CPF: 12.011.7108 373820-0900  
verifique em: https://verifica.ifmg.br

# INDÚSTRIA 4.0 EFEITOS NA PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA OPERACIONAL NA MINERAÇÃO

Jeane de Fatima Santos

Graduanda em Bacharelado em Administração

Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG Campus Ouro Branco

jeanesantos8570@gmail.com

Iaia Helena Magalhães Pereira

Professora do IFMG Campus Ouro Branco

iaia.magalhaes@ifmg.edu.br

## RESUMO

A Indústria 4.0 tem promovido transformações significativas nos processos produtivos e nos modelos de gestão das organizações industriais, incluindo o setor de mineração, tradicionalmente caracterizado por elevada complexidade operacional e altos riscos. Nesse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar os efeitos da adoção das tecnologias da Indústria 4.0 na produtividade e na eficiência operacional das empresas mineradoras. Para tanto, adotou-se uma abordagem qualitativa e descritiva, fundamentada em revisão bibliográfica de artigos científicos e documentos técnicos, bem como na realização de entrevistas semiestruturadas com profissionais atuantes no setor. Os resultados indicam que a implementação de tecnologias como automação, Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, digitalização de processos e análise de dados em tempo real contribui para o aumento da produtividade, a redução de custos operacionais, a melhoria da segurança do trabalho e o aprimoramento da tomada de decisão gerencial. Contudo, também foram identificados desafios relevantes, como o elevado investimento inicial, a necessidade de infraestrutura tecnológica adequada, a escassez de mão de obra qualificada e a resistência à mudança organizacional. Conclui-se que, apesar das barreiras existentes, a Indústria 4.0 representa uma oportunidade estratégica para o setor de mineração, ao promover maior eficiência operacional, sustentabilidade e competitividade, desde que sua adoção seja acompanhada de planejamento estratégico e gestão da mudança.

**Palavras-Chave:** Indústria 4.0, Mineração, Produtividade, Eficiência operacional e Transformação digital.

## ABSTRACT

Industry 4.0 has promoted significant transformations in the production processes and management models of industrial organizations, including the mining sector, traditionally characterized by high operational complexity and high risks. In this context, the present study aims to analyze the effects of adopting Industry 4.0 technologies on the productivity and operational efficiency of mining companies. To this end, a qualitative and descriptive approach was adopted, based on a literature review of scientific articles and technical documents, as well as semi-structured interviews with professionals working in the sector. The results indicate that the implementation of technologies such as automation, Internet of Things (IoT), artificial intelligence, process digitization, and real-time data analysis contributes to increased productivity, reduced operating costs, improved workplace safety, and enhanced managerial decision-making. However, relevant challenges were also identified, such as the high initial investment, the need for adequate technological infrastructure, the scarcity of qualified labor, and resistance to organizational change. It is concluded that, despite existing barriers, Industry 4.0 represents a strategic opportunity for the mining sector, promoting greater operational efficiency, sustainability, and competitiveness, provided that its adoption is accompanied by strategic planning and change management.

Keywords: Industry 4.0, Mining, Productivity, Operational efficiency, Digital transformation.

## 1. INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade econômica estratégica para o desenvolvimento das cadeias produtivas, da infraestrutura e do crescimento econômico, exercendo papel fundamental na provisão de insumos essenciais para diversos setores industriais. Ao longo da história, o setor mineral sempre esteve associado à incorporação de avanços tecnológicos com o objetivo de ampliar a produtividade, reduzir custos operacionais e mitigar riscos inerentes às atividades extrativas. Nesse contexto, a evolução tecnológica tem se mostrado um fator determinante para a transformação dos processos produtivos, influenciando diretamente a eficiência, a segurança e a sustentabilidade das operações mineradoras (Dias, 2023).

Com o advento da Indústria 4.0, também conhecida como Quarta Revolução Industrial, observa-se um novo ciclo de transformação no ambiente corporativo, caracterizado pela integração de tecnologias digitais avançadas, como automação, Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, big data e análise de dados em tempo real. Essas inovações vêm modificando de forma significativa as práticas de gestão, produção e logística, promovendo maior conectividade entre sistemas físicos e digitais e possibilitando uma tomada de decisão mais ágil e baseada em dados. Segundo Sakurai (2018), esse movimento tem provocado mudanças profundas em setores tradicionalmente marcados por estruturas rígidas e elevada complexidade operacional, como é o caso da mineração.

O aumento da demanda global por recursos minerais, impulsionado pelo

crescimento populacional, pela urbanização e pela transição energética, intensifica a necessidade de ganhos de eficiência e produtividade no setor. De acordo com Dias (2023), a adoção de tecnologias avançadas torna-se cada vez mais relevante para garantir a competitividade das empresas mineradoras em um ambiente caracterizado por elevada volatilidade de preços das commodities, pressão por redução de custos e exigências crescentes relacionadas à sustentabilidade e à responsabilidade socioambiental.

Historicamente, a mineração enfrenta desafios estruturais significativos, tais como elevados custos operacionais, escassez de mão de obra qualificada, riscos operacionais e ambientais, além de restrições logísticas decorrentes da localização geográfica das operações, muitas vezes em regiões remotas. Nesse cenário, a Indústria 4.0 surge como uma oportunidade estratégica para a modernização do setor, ao oferecer soluções tecnológicas capazes de otimizar processos, aumentar a confiabilidade dos ativos, reduzir falhas operacionais e aprimorar o desempenho produtivo. Segundo dados da Confederação Nacional da Indústria (CNI), a adoção de tecnologias digitais no setor industrial está associada ao aumento da produtividade e à redução de custos operacionais, à medida que empresas expandem o uso de soluções digitais e investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em seus processos produtivos.

No contexto brasileiro, a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 na mineração ainda ocorre de forma gradual, quando comparada a outros segmentos industriais, porém já apresenta resultados relevantes. Estudos como o de Souza e Santos (2021) apontam que a implementação de sistemas automatizados, sensores inteligentes e monitoramento em tempo real contribui para a redução de falhas operacionais e para a melhoria do desempenho dos ativos produtivos. De forma complementar, Farias (2020) destaca que a adoção de práticas de manutenção preditiva, viabilizadas por dispositivos de IoT e técnicas de análise de vibração, permite aumentar a confiabilidade das operações, reduzir paradas não programadas e otimizar os fluxos de trabalho.

A relevância do tema se intensifica quando se considera a importância econômica da mineração para o Brasil. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM), com base em informações referentes ao ano de 2023/2024, o setor mineral respondeu por cerca de 4% do Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro, mantendo sua participação no cenário econômico nacional. Nesse mesmo período, as exportações de minerais alcançaram aproximadamente US\$ 42,98 bilhões, desempenhando papel central nas vendas externas do país e contribuindo de forma expressiva para a balança comercial. Esse contexto reforça a necessidade de inovação contínua nas práticas de gestão e operação das empresas mineradoras, sobretudo diante das exigências do mercado global, do avanço tecnológico e das pressões regulatórias e ambientais.

Do ponto de vista da Administração, o estudo da Indústria 4.0 aplicada à mineração mostra-se especialmente relevante, uma vez que envolve aspectos diretamente relacionados à gestão de processos, à análise de desempenho organizacional, à tomada de decisão baseada em dados e à gestão da inovação. A utilização de indicadores operacionais associados à implementação de tecnologias emergentes possibilita uma compreensão mais abrangente das relações entre produtividade, eficiência operacional e transformação digital, ampliando o debate sobre as competências gerenciais necessárias em um ambiente empresarial cada vez mais digitalizado.

Relatórios recentes reforçam a magnitude dos impactos econômicos associados à digitalização do setor mineral. Segundo a consultoria McKinsey (2023), a digitalização

plena dos processos industriais pode gerar uma economia anual de até US\$ 400 bilhões para o setor de mineração em escala global. Esses números evidenciam a urgência de uma abordagem estratégica por parte das empresas mineradoras, bem como a importância do tema para pesquisadores e formuladores de políticas públicas. Em um ambiente competitivo e volátil, a capacidade de adaptação às transformações tecnológicas pode representar um fator decisivo para a sustentabilidade e a sobrevivência das organizações.

A literatura analisada nesta pesquisa aponta diferentes abordagens sobre a aplicação das tecnologias da Indústria 4.0 na mineração. Ferreira (2021) discute como a digitalização da cadeia de valor pode reduzir gargalos operacionais e promover maior integração entre os diversos setores da empresa, resultando em ganhos de eficiência e produtividade. Contudo, apesar do elevado potencial transformador dessas tecnologias, sua implementação no setor mineral enfrenta obstáculos relevantes, como o alto custo inicial dos investimentos, a resistência à mudança organizacional, a escassez de profissionais qualificados e as limitações de infraestrutura tecnológica, especialmente em áreas geograficamente isoladas (Eichholz, 2021).

Diante desse contexto, este artigo tem como objetivo descrever os efeitos da adoção das tecnologias da Indústria 4.0 sobre a produtividade e a eficiência operacional das empresas do setor de mineração. Busca-se investigar os principais desafios enfrentados pelas organizações mineradoras no processo de implementação dessas tecnologias, bem como relatar seus impactos na gestão dos processos operacionais e no desempenho industrial. Adicionalmente, pretende-se identificar as principais vantagens e limitações associadas à Indústria 4.0 no contexto da mineração, contribuindo para uma compreensão mais aprofundada dos benefícios e dos riscos envolvidos nesse processo de transformação digital.

A questão que orienta este estudo consiste em compreender de que forma a adoção das tecnologias da Indústria 4.0 influencia os indicadores de produtividade e eficiência operacional no setor de mineração. Parte-se do pressuposto de que a digitalização e a automação dos processos produtivos contribuem de maneira significativa para a melhoria do desempenho das empresas mineradoras, ao mesmo tempo em que ampliam sua capacidade de resposta a riscos operacionais e às crescentes demandas por sustentabilidade (McKinsey, 2021).

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Nesta seção, é apresentada a revisão da literatura, dividida em quatro partes, que exploram os principais tópicos investigados na pesquisa e seu estado da arte atual. Esta fundamentação teórica visa entender os conceitos da indústria 4.0, administração da produção, setor da mineração e processos operacionais.

### **2.1. Indústria 4.0**

A Primeira Revolução Industrial, iniciada no final do século XVIII, marcou a transição dos métodos de produção artesanais para processos mecanizados. Essas mudanças revolucionaram não apenas a economia, com o aumento da produtividade, mas também a vida cotidiana das pessoas. Desde então, a indústria tem passado por sucessivas transformações, tanto nos sistemas de produção quanto nas práticas de gestão (Santos;

Junior, 2019).

O termo “Indústria 4.0” foi utilizado pela primeira vez em 2011, durante a Feira de Hannover, na Alemanha. Ele fazia parte de uma estratégia do governo alemão para incentivar a informatização das fábricas, dando origem ao conceito de “fábrica inteligente”. O principal objetivo da Indústria 4.0 é otimizar os processos produtivos, tornando-os mais eficientes, autônomos, descentralizados e customizáveis (Candia, 2022).

Mineração 4.0 significa a automação dos processos de extração, transporte e processamento mineral, possibilitando a redução dos impactos negativos ao meio ambiente, bem como o aumento da produtividade e da eficiência operacional. Além disso, promove melhorias em atividades como a gestão de minas e a saúde e segurança dos trabalhadores, por meio do suporte de tecnologias de digitalização. A Mineração 4.0 também permite uma produção mais sustentável, com economia de recursos, uma vez que as tecnologias associadas à Indústria 4.0 possibilitam a redução de custos relacionados ao transporte, tratamento e descarte de materiais sem valor econômico. Ademais, favorece a implementação de atividades de baixo impacto ambiental e urbano, contribuindo positivamente para a produtividade, o uso eficiente de recursos e o aprimoramento da segurança. (Mendoza, 2020, p. 20).

De acordo com Dias (2023), a Indústria 4.0 tem impulsionado a inovação tecnológica no setor de mineração, ao introduzir uma série de soluções digitais voltadas à otimização dos processos, ao aumento da segurança, à redução de custos operacionais e à elevação da produtividade. Entre as principais inovações tecnológicas aplicadas ao setor, destacam-se a automação, a inteligência artificial, a internet das coisas (IoT), a big data, a realidade aumentada e virtual, além da impressão 3D.

Segundo Faria (2024) a Indústria 4.0 surge, no entanto, como uma solução voltada ao aprimoramento dos processos industriais, à modernização das estratégias de manutenção e à garantia da competitividade no mercado. Isso se dá por meio da integração de tecnologias avançadas, como sensores inteligentes, inteligência artificial e aprendizado de máquina (*machine learning*).

Todas as mudanças perceptíveis proporcionadas pela Mineração 4.0 estão diretamente relacionadas aos resultados consolidados das operações. Com o uso intensivo de tecnologias digitais, é possível alcançar maior eficiência operacional, reduzir a ocorrência de erros, aumentar os níveis de produtividade, melhorar significativamente a segurança no ambiente de trabalho com menos pessoas expostas a situações de risco e, consequentemente, diminuir os custos operacionais (Antunes, 2022).

As transformações associadas à Indústria 4.0 têm um impacto profundo e abrangente, caracterizando-se como a quarta revolução industrial. Elas promovem um aumento significativo da flexibilidade, velocidade, produtividade e qualidade dos processos produtivos, graças à integração de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, robótica e sistemas ciber-físicos que permitem operações autônomas e interconectadas (Moreira, 2023).

Em 2009, durante a era da chamada Mineração 3.0, projetava-se que, até 2030, haveria um amplo domínio de máquinas e dispositivos de mineração “conectados”,

marcando uma crescente integração entre operações físicas e tecnologias digitais (Zhironkina, 2023).

## **2.2. Administração da Produção**

A administração da produção desempenha um papel crucial no sucesso ou fracasso de qualquer organização, pois é responsável pelo planejamento, controle e coordenação dos processos produtivos para garantir eficiência e qualidade. O gerenciamento estratégico das funções de estoque, em especial, tem se destacado como uma ferramenta fundamental para otimizar os fluxos de materiais e produtos, evitando excessos ou faltas que impactam diretamente nos custos e na capacidade de atendimento ao cliente (Santos; Novais, 2021).

Ao longo dos últimos duzentos anos, a Administração da Produção vem se consolidando por meio de ferramentas originadas em diversas áreas do conhecimento, como a estatística, a psicologia, a sociologia e as engenharias. Essas ferramentas proporcionaram aos gestores de produção maior assertividade na análise de indicadores, resultando, conseqüentemente, em melhores desempenhos operacionais e na otimização dos recursos disponíveis (Santos; Junior, 2019).

À medida que a Administração da Produção foi ganhando espaço dentro das fábricas, um arcabouço técnico e metodológico passou a integrar as atividades diárias nas linhas produtivas. O que teve início com a intensificação da produção, por meio da divisão do trabalho e do uso da força mecânica impulsionada pela máquina a vapor no final do século XVIII, ganhou novas dimensões com a chegada da energia elétrica aos parques industriais. Esse processo foi ampliado com a padronização introduzida pelos estudos de Frederick Taylor, a valorização do fator humano nos experimentos de Hawthorne, o foco na qualidade nas indústrias japonesas, americanas e europeias, até culminar, com a globalização, na chamada Revolução dos Serviços, no início da década de 1990 (Santos; Junior 2019).

Tanto a categorização da evolução da Administração da Produção em períodos quanto o surgimento da Indústria 4.0 são assuntos relativamente recentes na literatura da Administração Geral. De maneira objetiva e sucinta, ambos os temas são fundamentados teoricamente nesta seção, com o objetivo de contextualizar a relevância da Indústria 4.0 na formulação do conhecimento no campo da Administração da Produção (Santos; Junior, 2019, p. 2).

Além do aumento da eficiência e da redução de custos, as inovações tecnológicas na mineração contribuem significativamente para a melhoria da segurança e a preservação do meio ambiente. Essas tecnologias promovem o uso sustentável dos recursos naturais, assegurando que as operações sejam realizadas de forma responsável e com menor impacto ambiental (Farias, 2024).

## **2.3. Processos Operacionais**

A indústria 4.0 está impulsionando a inovação tecnológica na mineração, trazendo diversas soluções digitais e tecnológicas para otimizar processos, melhorar a segurança, reduzir custos e aumentar a produtividade. Algumas dessas inovações tecnológicas são:

Automação, Inteligência Artificial, Machine Learning, Internet das Coisas, Big Data, Realidade aumentada e Virtual e Impressão 3D (Dias, 2023).

A Indústria 4.0 deve ser compreendida não apenas como um fenômeno tecnológico, mas em sua dimensão social, pois envolve transformações profundas nas relações de trabalho, produção e comunicação, o conceito está ligado a um sistema de fábricas inteligentes, flexíveis e dinâmicas, equipadas com sensores autônomos e máquinas capazes de tomar decisões que antes eram exclusivas dos seres humanos. Essas fábricas inteligentes utilizam a Internet das Coisas (IoT) para interconectar diversos dispositivos, desde carros, camisetas e relógios inteligentes até smartphones e outros equipamentos, permitindo um fluxo contínuo de comunicação entre diferentes instâncias do processo produtivo (Santos; Junior, 2019).

A automação e o uso de drones são tecnologias essenciais na Mineração 4.0 e estão sendo amplamente utilizadas por empresas de mineração que se adaptaram para a Mineração 4.0 (Dias, 2023).

Segundo Zhironkina (2023) as máquinas automáticas podem ser usadas de diversas formas na Mineração 4.0 pois tem como benefícios uma operação segura, redução de custos acidentais, aumento da eficiência, e tem com malefícios os altos custos de implementação, redução de empregos, demanda por pessoal especializado.

Alguns dos benefícios da aplicação da IA e do ML na mineração 4.0 são a melhoria na segurança pois podem ser usados para detectar problemas de segurança e riscos antes que ocorram, aumentando a segurança no ambiente de mineração, a otimização de processos pois permite a análise de dados em tempo real otimizando os processos de mineração, reduzindo o tempo de inatividade e minimizando o desperdício e aumentando a eficiência, a descoberta de depósitos minerais pois essas tecnologias permitem uma análise mais detalhada dos dados geológicos, ajudando a identificar a presença de minerais valiosos, o aumento da produtividade pois é possível obter dados em tempo real sobre o desempenho dos equipamentos, permitindo ajustes rápidos e aumentando a produtividade da mineração e a redução de custos pois com a otimização dos processos e a prevenção de falhas, os custos da mineração são reduzidos, aumentando a lucratividade da empresa (Dias, 2020, p.29).

Para Zhironkina (2023) a realidade virtual e aumentada pode ser usada na saúde e treinamento vocacional da mineração, manutenção de máquinas e tem como benefícios ser uma forma moderna de conduzir treinamentos, limitando erros humanos, controle automático do trabalho, preparação do funcionário para situações de emergência. Porém tem como malefícios os altos custos, recursos limitados de equipamentos, limitações técnicas, a necessidade de melhorar as qualificações da equipe.

A Internet das coisas (IoT) promove a conectividade entre o ambiente físico e o ambiente digital, permitindo que objetos e mecanismos sejam detectados durante os processos de produção e distribuição por meio de uma infraestrutura de rede. Essa integração assegura maior segurança e controle gerencial para as empresas (Antunes, 2022).

O uso de drones na Mineração 4.0 é uma tecnologia crucial para otimizar processos, aumentar a eficiência e melhorar a segurança no setor. Eles permitem a coleta de dados geológicos e topográficos em tempo real, o que possibilita análises rápidas e

decisões mais precisas. Além disso, drones podem mapear áreas de mineração inacessíveis ou perigosas para trabalhadores, garantindo maior segurança na operação. Também são usados para inspeção de equipamentos, identificando problemas rapidamente e reduzindo riscos operacionais (Dias, 2023).

## 2.4. Setor da Mineração

As empresas do setor de mineração buscam constantemente alcançar excelência operacional, conformidade regulatória e gestão eficiente, investindo grandes quantidades de capital para isso. No entanto, a promessa de uma fácil integração de sistemas avançados e tecnologias em vários níveis do negócio tem se mostrado um desafio complexo (Antunes, 2022).

A aplicação da Inteligência Artificial (IA) na mineração traz avanços significativos, especialmente na capacidade de detectar corpos de minério em áreas remotas ou desconhecidas, mesmo na ausência de dados geológicos pré-existentes. Essa tecnologia utiliza algoritmos avançados para analisar grandes volumes de dados geoespaciais e identificar padrões que indicam a presença de minerais, ampliando o alcance e a precisão das prospecções (Ferreira, 2020).

De acordo com Antunes (2022) a mineração do futuro está sendo moldada em um contexto no qual é necessário produzir a custos compatíveis com as exigências da competitividade internacional. Nesse cenário, o setor minerador tem superado diversas adversidades por meio da incorporação de novas tecnologias. Gradualmente, a indústria de mineração vem se aproximando dos princípios da Indústria 4.0, com a implementação de instalações de processamento de minério cada vez mais sofisticadas e tecnologicamente avançadas.

Uma planta industrial que incorpora tecnologias da Indústria 4.0 permite aos fornecedores reduzirem os custos operacionais, otimizar os ativos de produção e aprimorar a automação dos processos. Com isso, busca-se não apenas eficiência, mas também a redução contínua dos custos de operação. Nesse contexto, o investimento inicial deve ser o mais baixo possível, sem comprometer os requisitos ambientais e de segurança, que são fundamentais no setor de mineração. Assim, é essencial considerar, desde o início do projeto, estratégias para minimizar os custos de implantação e operação, ao mesmo tempo em que se avaliam outras inovações tecnológicas viáveis (Alves, 2019).

Atualmente, alguns países lideram a adoção da Mineração 4.0, destacando-se a Austrália, onde várias mineradoras já incorporaram tecnologias como inteligência artificial (IA) e Internet das Coisas (IoT) em seus processos de extração, promovendo maior automação, eficiência e segurança. Além da Austrália, países como China e África do Sul também têm investido significativamente por novas tecnologias para modernizar o setor mineral e aumentar sua competitividade global (Dias, 2023).

A indústria mineradora exerce papel fundamental na economia brasileira, destacando-se pela diversidade e riqueza dos recursos minerais disponíveis no país, como cobre, minério de ferro, nióbio, ouro, bauxita, manganês, entre outros. Essa variedade coloca o Brasil em posição de destaque no setor global de mineração, sendo um dos maiores produtores mundiais desses minérios essenciais para diversas cadeias produtivas

(Farias, 2024).

A exportação de minérios e minerais é um componente fundamental da balança comercial brasileira, contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto (PIB) do país (Farias, 2024). As mudanças tecnológicas do passado, como as ocorridas durante a terceira revolução industrial, já desencadearam medo da perda de empregos, especialmente nos países desenvolvidos, devido à automação e substituição de tarefas humanas por máquinas. Apesar disso, a história mostra que, embora algumas ocupações desapareçam, outras surgem, e novos empregos são criados ao longo do tempo, ainda que a transição possa ser difícil e cause incertezas (Antunes, 2022).

### **3. METODOLOGIA**

A pesquisa adota uma abordagem qualitativa e descritiva, uma vez que busca compreender os efeitos da implementação das tecnologias da Indústria 4.0 no setor de mineração, por meio da análise de dados secundários, como artigos científicos, relatórios institucionais e documentos técnicos. Segundo Gil (2008), a pesquisa descritiva tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema com vistas a torná-lo mais explícito ou a contribuir com outros estudos correlatos.

Quanto à natureza, trata-se de uma pesquisa aplicada, pois visa gerar conhecimentos para aplicação prática, direcionados à solução de problemas específicos do setor minerador (Rodanov; Freitas, 2013). O objetivo principal é descrever os efeitos da Indústria 4.0 na produtividade e eficiência operacional, caracterizando a pesquisa como descritiva quanto aos seus fins.

A pesquisa envolveu a coleta de dados primários junto a profissionais que atuam no setor de mineração. Para isso, foi adotado um instrumento de pesquisa composto exclusivamente por perguntas abertas, elaborado com o objetivo de captar percepções, experiências e opiniões dos participantes sobre os temas abordados no estudo.

As perguntas foram encaminhadas diretamente aos participantes, que responderam de forma individual e voluntária, retornando suas contribuições por meio dos canais de comunicação. Antes do envio do questionário, todos os participantes foram informados sobre os objetivos do estudo, a natureza acadêmica da pesquisa e a garantia de confidencialidade das informações prestadas.

Os dados coletados foram analisados de forma qualitativa, por meio de análise de conteúdo, conforme proposto por Bardin (2016), a fim de identificar categorias relevantes que evidenciem os efeitos dessas tecnologias nos indicadores de produtividade e eficiência operacional.

A análise temática é um método qualitativo utilizado para identificar, analisar e interpretar padrões (ou “temas”) presentes em conjuntos de dados, geralmente textos como entrevistas, transcrições, respostas abertas de questionários, entre outros. O objetivo é organizar e descrever o conteúdo detalhadamente, buscando compreender experiências, percepções e significados compartilhados pelos participantes (Rossa; Mackedanz, 2021).

O quadro 1 apresenta a caracterização metodológica da pesquisa, indicando as principais escolhas adotadas para o desenvolvimento do estudo. Optou-se por uma

abordagem qualitativa e descritiva, por possibilitar a compreensão dos fenômenos a partir da percepção dos participantes, conforme proposto por Creswell (2014).

**Quadro 1: Caracterização metodológica da pesquisa**

<b>Dimensão</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Fundamentação Metodológica</b>
Abordagem	Descritiva e qualitativa	Creswell (2014)
Natureza	Aplicada	Prodanov e Freitas (2013)
Objetivos	Descritiva	Gil (2008)
Procedimentos	Bibliográfica, Documental, Entrevistas semiestruturadas e análise de dados	Yin (2016); Bardin (2016)

**Fonte:** Elaboração própria

Quanto à natureza, a pesquisa foi classificada como aplicada, pois buscou compreender uma realidade prática relacionada ao setor de mineração, conforme Prodanov e Freitas (2013). Em relação aos objetivos, o estudo apresentou caráter descritivo, ao se dedicar à descrição e análise das percepções, experiências e desafios associados à adoção das tecnologias da Indústria 4.0, sem a intenção de testar hipóteses, conforme Gil (2008).

No que se refere aos procedimentos metodológicos, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com profissionais que atuam no setor de mineração. As respostas coletadas foram tratadas por meio da análise de conteúdo, seguindo as orientações de Yin (2016) e Bardin (2016), o que permitiu a organização e interpretação sistemática dos dados qualitativos obtidos.

A pesquisa foi realizada por meio da aplicação de um questionário composto por perguntas abertas, direcionado a profissionais que atuam no setor de mineração. O instrumento de coleta foi elaborado com o objetivo de compreender as percepções, experiências e opiniões dos participantes acerca dos impactos da Indústria 4.0 nas práticas produtivas e gerenciais do setor.

O questionário foi encaminhado a cinco participantes, que responderam de forma individual e voluntária, retornando suas respostas dentro do período estabelecido para a pesquisa. A escolha por perguntas abertas permitiu maior liberdade de expressão, possibilitando a obtenção de relatos distintos e alinhados à realidade vivenciada pelos respondentes em seus contextos profissionais.

Com o intuito de preservar a identidade dos participantes, foi adotado o anonimato dos entrevistados, sendo suas falas identificadas apenas por códigos alfanuméricos (E1, E2, E3, E4 e E5) e a participação dos respondentes foi voluntária, respeitando os princípios éticos da pesquisa,

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A análise dos dados provenientes das entrevistas foi realizada com base na técnica de análise de conteúdo proposta por Bardin (2016), seguindo as etapas de pré-análise, exploração do material e interpretação dos resultados. Inicialmente, procedeu-se à leitura fluente das transcrições, com o objetivo de apreender o sentido geral das falas. Em

seguida, foram realizadas a codificação e a categorização dos trechos mais relevantes, permitindo a organização sistemática dos dados e a identificação de padrões de sentido recorrentes.

A partir desse processo analítico, emergiram seis categorias temáticas, diretamente relacionadas às questões norteadoras da pesquisa: (i) impactos da Indústria 4.0 na eficiência operacional e na segurança; (ii) vantagens e desvantagens da adoção das tecnologias da Indústria 4.0; (iii) contribuições para a produtividade e redução de custos; (iv) desafios técnicos, financeiros e humanos de implementação; (v) estratégias para superação de barreiras organizacionais; e (vi) influências na gestão de processos e na tomada de decisão.

Foram entrevistados cinco profissionais, vinculados a duas empresas distintas do setor de mineração. Em conformidade com a Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais (LGPD – Lei nº 13.709/2018), bem como com os princípios éticos da pesquisa científica, optou-se por não divulgar os nomes dos participantes nem das organizações envolvidas, assegurando o anonimato e a confidencialidade das informações coletadas. Para tanto, os entrevistados foram identificados por meio de codificação alfanumérica, o quadro 2 apresenta a caracterização geral dos entrevistados, considerando gênero e formação profissional.

*Quadro 2: Caracterização dos participantes da pesquisa*

<b>Entrevistado</b>	<b>Gênero</b>	<b>Formação profissional</b>
E1	Feminino	Engenharia Geotécnica
E2	Masculino	Engenharia Civil
E3	Masculino	Engenharia de Produção (Sênior)
E4	Masculino	Engenharia de Minas
E5	Feminino	Engenharia de Minas

**Fonte:** Elaboração própria

Ressalta-se que todos os entrevistados responderam às mesmas seis perguntas semiestruturadas, o que possibilitou a comparação das percepções individuais e a construção de uma análise, respeitando as especificidades de cada relato e a compreensão dos impactos da Indústria 4.0 no contexto da mineração.

A seguir são apresentadas as análises das entrevistas separadas nas categorias pré-definidas já mencionadas.

### **i) Impactos da Indústria 4.0 na Eficiência Operacional e na Segurança**

A análise concentrou-se nos impactos da aplicação de tecnologias da Indústria 4.0, como a Internet das Coisas (IoT), a inteligência artificial e os sistemas automatizados, sobre a eficiência operacional e a segurança nas atividades de mineração. As respostas

indicam que todos os entrevistados reconhecem efeitos positivos dessas tecnologias em ambas as dimensões, ainda que com diferentes enfoques, conforme a área de atuação e a experiência profissional.

No que se refere à eficiência operacional, o E1 destacou que a utilização dessas tecnologias torna os processos “mais rápidos e seguros”, reduzindo erros e ampliando o controle das operações. Essa percepção também aparece nas falas do E2 e do E3, que ressaltaram o papel do monitoramento em tempo real por meio de sensores IoT na prevenção de paradas inesperadas. O E2 enfatiza que o acompanhamento contínuo dos processos permite ajustes imediatos, aumentando a eficiência produtiva, enquanto o E3 associa diretamente esse monitoramento à manutenção preditiva, capaz de reduzir paradas não planejadas e desperdícios operacionais.

Ainda sob a perspectiva da eficiência, o E3 e o E4 ressaltaram a aplicação da Inteligência Artificial (IA) na otimização de rotas de transporte e no planejamento da lavra, o que contribui para melhor utilização dos ativos e redução de custos indiretos. O E5, por sua vez, amplia essa análise ao afirmar que, embora o investimento inicial seja elevado, os ganhos de produtividade e eficiência tendem a se consolidar no longo prazo, especialmente quando comparados à operação exclusivamente manual.

No aspecto da segurança operacional, observa-se forte convergência entre os entrevistados. O E2, o E3 e o E4 evidenciaram que o uso de sensores, monitoramento remoto e veículos autônomos reduz significativamente a exposição dos trabalhadores a áreas de risco, como minas profundas, regiões geotecnicamente instáveis e áreas de barragens. O E5 reforça esse ponto ao relatar que atividades que antes colocavam em risco a integridade física dos trabalhadores hoje podem ser realizadas por sistemas automatizados, minimizando acidentes e afastamentos.

Além disso, o E3 menciona que o uso de IA na análise de imagens e dados ambientais pode antecipar os riscos geotécnicos, evidenciando um avanço relevante no caráter preventivo da segurança operacional. Essas respostas reforçam a ideia de que a Indústria 4.0 não atua apenas de forma reativa, mas também preditiva, contribuindo para uma gestão de riscos eficiente.

Os resultados empíricos encontrados corroboram a literatura sobre Indústria 4.0 na mineração, que associa o uso de IoT, automação e IA ao aumento da confiabilidade operacional, à redução de falhas e à mitigação de riscos ocupacionais (Zhironkina; Zhironkin, 2023; Farias, 2023). Conforme apontado por Mendoza (2020), a digitalização dos processos mineradores permite maior controle das operações e melhorias significativas em segurança e produtividade, o que se confirma nas percepções dos entrevistados.

De forma sintética, os resultados desta categoria indicam que a Indústria 4.0 tem promovido ganhos relevantes na eficiência operacional e na segurança das atividades de mineração, conforme relatado por todos os entrevistados. A convergência entre as falas e a literatura enfatiza que essas tecnologias representam um fator estratégico para a modernização do setor, contribuindo para operações mais seguras, produtivas e alinhadas às exigências contemporâneas de desempenho e sustentabilidade.

## ii) **Contribuições da Automação, Digitalização e Dados em Tempo Real para a Produtividade e Redução de Custos**

A análise abordou o papel da automação, da digitalização e do uso de dados em tempo real no aumento da produtividade e na redução de custos no setor de mineração. As respostas dos entrevistados indicam que essas práticas estão associadas a melhorias significativas na eficiência produtiva e à diminuição dos custos operacionais, embora tais impactos se manifestem de maneiras distintas nos processos produtivos e administrativos.

O entrevistado E1 destacou que a automação e o acesso imediato aos dados permitem produzir mais com menor desperdício, ao afirmar que *“com tudo automatizado e dados na hora, dá para produzir mais gastando menos”*. Essa percepção evidencia uma relação direta entre tecnologia e eficiência operacional, ainda que apresentada de forma sucinta.

O entrevistado E2 apontou que a automação contribui para a continuidade das operações, uma vez que máquinas autônomas operam por períodos prolongados, reduzindo interrupções. Além disso, ressaltou que a digitalização facilita a tomada de decisão e que os dados em tempo real permitem ajustes nos processos produtivos. Segundo E2, a manutenção preditiva reduz gastos com falhas inesperadas e contribui para a diminuição de custos associados a reparos e consumo de energia.

Na mesma linha, o entrevistado E3 trouxe que a automação reduz gargalos produtivos e aumenta a disponibilidade dos equipamentos, enquanto a digitalização possibilita maior controle e rastreabilidade da cadeia produtiva. Em relação à redução de custos, E3 enfatizou que o monitoramento em tempo real permite identificar problemas operacionais antes que se tornem falhas críticas, reduzindo despesas com manutenção corretiva.

O entrevistado E4 reforçou esses pontos ao mencionar que a automação contribui para a eliminação de gargalos e que a digitalização facilita o controle dos processos. Para E4, o uso de dados em tempo real permite intervenções mais rápidas, o que impacta a redução de custos operacionais e o uso mais eficiente de recursos energéticos e logísticos.

Por sua vez, o entrevistado E5 acrescentou com uma contribuição relacionada aos processos administrativos, ao relatar que a digitalização reduziu o uso de papel, a perda de documentos e erros de registro. Segundo E5, a digitalização facilitou a análise das informações e reduziu o tempo necessário para a execução de tarefas administrativas, o que gera reflexos tanto na produtividade quanto nos custos indiretos.

Sendo assim, pode-se concluir que os relatos indicam que a automação, a digitalização e o uso de dados em tempo real contribuem para ganhos de produtividade ao reduzir gargalos, melhorar o controle dos processos e diminuir o tempo de resposta operacional. Paralelamente, a redução de custos ocorre principalmente pela diminuição de falhas, pelo uso mais racional de recursos e pela simplificação de atividades administrativas. Esses resultados estão em consonância com a literatura sobre Indústria 4.0, que associa o uso integrado dessas tecnologias à melhoria do desempenho operacional no setor industrial, incluindo a mineração.

### iii) **Desafios técnicos, financeiros e humanos na implementação da Indústria 4.0**

Por sua vez a terceira pergunta realizada aos entrevistados buscou quais desafios técnicos, financeiros e humanos as empresas mineradoras enfrentam ao implementar tecnologias da Indústria 4.0. As respostas evidenciam que a implementação da Indústria 4.0 no setor de mineração envolve desafios de natureza técnica, financeira e humana, os quais se manifestam de forma interdependente ao longo do processo de transformação digital.

Do ponto de vista técnico, os entrevistados mencionaram dificuldades relacionadas à complexidade das tecnologias e à integração entre sistemas. O entrevistado E1 sintetizou essa questão ao afirmar que a tecnologia é “*difícil*” e que sua implementação exige preparo técnico específico. De forma mais detalhada, o entrevistado E2 destacou problemas na integração de sistemas antigos com novas soluções digitais, além de limitações de conectividade, especialmente em áreas remotas de operação. O entrevistado E3 reforçou essa percepção ao apontar a integração de sistemas legados e a necessidade de garantir a cibersegurança como desafios técnicos relevantes, aspecto também mencionado por E4.

No âmbito financeiro, os relatos convergem para a percepção de que os investimentos necessários representam uma barreira significativa. O entrevistado E1 mencionou diretamente o custo elevado como um dos principais entraves. Já E2 e E3 enfatizaram que os investimentos iniciais em infraestrutura e tecnologia demandam elevados recursos de capital, enquanto o retorno tende a ocorrer no médio ou longo prazo. O entrevistado E5 acrescentou que os custos não se limitam à aquisição de softwares e equipamentos, mas incluem também treinamentos, atualização de sistemas e substituição de equipamentos de informática, exigindo planejamento financeiro e alocação específica de recursos no CAPEX.

Em relação aos desafios humanos, os entrevistados apontaram a qualificação da mão de obra e a resistência à mudança como fatores centrais. O entrevistado E2 destacou a necessidade de requalificação das equipes e a resistência cultural presente nos processos de mudança organizacional. O entrevistado E3 reforçou a dificuldade de adaptação cultural e a demanda por novos perfis profissionais. De forma mais detalhada, E5 relatou que há escassez de profissionais especializados no mercado, o que torna necessário investir no treinamento da equipe já existente, processo que pode tornar a implementação mais lenta. Além disso, E5 destacou a necessidade de conscientizar os colaboradores de que a tecnologia atua como ferramenta de apoio, e não como substituição do trabalho humano.

De modo geral, as respostas indicam que os desafios técnicos, financeiros e humanos estão interligados, uma vez que limitações técnicas demandam investimentos financeiros e, simultaneamente, exigem capacitação e mudança de mentalidade dos colaboradores. Esses resultados estão alinhados à literatura, que aponta que a adoção da Indústria 4.0 envolve não apenas a incorporação de tecnologias, mas também mudanças organizacionais, culturais e estratégicas, especialmente em setores intensivos em capital, como a mineração (Zhironkina; Zhironkin, 2023).

#### **iv) Vantagens e Desvantagens da Adoção das Tecnologias da Indústria**

Os entrevistados apontaram que a adoção das tecnologias associadas à Indústria 4.0 nas empresas mineradoras apresenta vantagens relevantes, especialmente no que se refere à produtividade, à redução de custos operacionais e ao aumento da segurança nos processos. O entrevistado E1 destacou que essas tecnologias contribuem diretamente para a melhoria da produção e para a redução de riscos operacionais, evidenciando a importância da automação e do monitoramento em tempo real em ambientes caracterizados por atividades de alto risco, como a mineração.

De forma semelhante, o E2 ressaltou que a Indústria 4.0 possibilita maior controle sobre os processos produtivos, aumento da produtividade e redução de custos, além de contribuir para práticas mais sustentáveis. Segundo o entrevistado, o uso de tecnologias digitais permite acompanhar variáveis operacionais com maior precisão, favorecendo decisões mais rápidas e embasadas. Essa percepção está alinhada aos estudos de Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), que destacam o papel da digitalização e do uso intensivo de dados na melhoria do controle operacional e na eficiência dos processos industriais. Nesse mesmo sentido, Vaidya, Ambad e Bhosle (2018) apontam que a integração de sistemas digitais e a análise de dados em tempo real fortalecem a capacidade decisória e contribuem para ganhos de desempenho organizacional.

O entrevistado E4 enfatizou como principal vantagem a redução de custos operacionais por meio da automação e da manutenção preditiva, destacando que o uso de sensores e sistemas inteligentes permite antecipar falhas em equipamentos, evitando paradas não programadas. Além disso, mencionou que a tomada de decisão baseada em dados torna os processos mais confiáveis, o que converge com os estudos de Hermann, Pentek e Otto (2016), ao indicarem que a integração de sistemas ciberfísicos favorece a confiabilidade, a eficiência e a otimização dos processos industriais.

Por outro lado, os entrevistados também ressaltaram desvantagens e desafios associados à adoção das tecnologias da Indústria 4.0. O alto investimento inicial foi mencionado por E1, E2, E3 e E4 como um dos principais entraves, especialmente no que diz respeito à infraestrutura tecnológica e à aquisição de sistemas avançados. Além disso, a necessidade de profissionais qualificados foi apontada como um fator crítico, uma vez que a operação e a manutenção dessas tecnologias exigem competências técnicas específicas.

O entrevistado E5 apresentou também uma desvantagem relacionado à adaptação das pessoas às novas tecnologias, destacando que a mudança cultural representa um desafio significativo. Segundo ele, trabalhadores acostumados a métodos tradicionais podem apresentar resistência à adoção de tecnologias digitais, o que pode gerar dificuldades no processo de transição havendo uma seleção natural dos trabalhadores e colaboradores da empresa, o que pode gerar um déficit no quadro de funcionários. Esse relato reforça a importância de uma gestão qualificada e humanizada com o intuito de prover mais segurança e confiança aos colaboradores da empresa.

Com o objetivo de sintetizar visualmente as principais vantagens e desvantagens da adoção das tecnologias da Indústria 4.0 nas empresas mineradoras, foi elaborado o Mapa Mental apresentado na Figura 1, construído a partir da análise das entrevistas realizadas.



**Figura 1:** Mapa mental das vantagens e desvantagens da Indústria 4.0  
**Fonte:** elaboração própria, com base nas respostas das entrevistas realizadas.

Dessa forma, observa-se que, embora a Indústria 4.0 ofereça vantagens relevantes para as empresas mineradoras, sua adoção envolve desafios técnicos, financeiros e humanos. Os relatos dos entrevistados evidenciam que os benefícios estão associados não apenas à implementação das tecnologias, mas também à capacidade das organizações de investir em infraestrutura, qualificação profissional e gestão da mudança, em consonância com os pressupostos teóricos apresentados no referencial deste estudo.

#### v) Estratégias para Superação de Barreiras Culturais, Estruturais e Tecnológicas

A análise concentrou-se nas barreiras culturais, estruturais e tecnológicas enfrentadas pelas organizações do setor mineral para a integração das inovações da Indústria 4.0 em seus processos produtivos. As respostas indicam que a superação desses obstáculos depende da adoção de estratégias articuladas, que envolvem mudanças culturais, planejamento organizacional e investimentos tecnológicos, acompanhados de ações de capacitação e comunicação interna.

No aspecto cultural, os entrevistados destacaram a necessidade de mudança de mentalidade e engajamento dos colaboradores. O entrevistado E1 apontou que, para que a transformação ocorra, as empresas precisam “mudar a forma de pensar, investir e ensinar as pessoas”. De forma complementar, E2 e E3 enfatizaram a importância de programas de capacitação contínua e de uma comunicação clara sobre os benefícios das novas tecnologias, de modo a reduzir resistências internas. O entrevistado E4 reforçou que a qualificação profissional e o diálogo transparente são estratégias centrais para superar barreiras culturais associadas à inovação tecnológica.

Quanto às barreiras estruturais, os relatos indicam a relevância do planejamento estratégico e da implementação gradual das inovações. O entrevistado E2 mencionou que a adoção por etapas permite maior controle do processo e redução de riscos operacionais. Já E3 destacou a necessidade de um *roadmap*<sup>1</sup> de transformação digital, alinhado aos objetivos da organização, enquanto E4 apontou as parcerias estratégicas como instrumentos para viabilizar mudanças estruturais de forma mais eficiente.

No âmbito tecnológico, os entrevistados ressaltaram a importância de investimentos em infraestrutura digital e da integração entre sistemas. E2 e E3 mencionaram a adoção de padrões tecnológicos que facilitem a interoperabilidade, além do estabelecimento de parcerias com fornecedores e startups para acelerar a inovação. Essas estratégias visam reduzir dificuldades técnicas e ampliar o acesso a soluções especializadas.

Um aspecto adicional emergiu a partir da fala do entrevistado E5, que ampliou a análise ao considerar a relação entre as empresas mineradoras e as comunidades locais. Segundo E5, o uso de tecnologias digitais e mídias sociais pode contribuir para superar barreiras culturais externas, ao aproximar a sociedade das atividades minerárias, divulgar projetos sociais e ambientais e promover maior transparência. O entrevistado também destacou a importância de envolver as comunidades no planejamento do uso futuro das áreas mineradas, especialmente após o fechamento das minas, integrando ações de sustentabilidade, projetos sociais e desenvolvimento local.

De acordo com os relatos dos entrevistados, a superação das barreiras culturais, estruturais e tecnológicas associadas à Indústria 4.0 requer uma abordagem sistêmica, que articule capacitação contínua, planejamento estratégico, parcerias institucionais e comunicação interna e externa. Essa percepção está alinhada à literatura, uma vez que, conforme destacam Zhironkina e Zhironkin (2023), a implementação da Indústria 4.0 no setor mineral não se limita à adoção de tecnologias digitais, mas envolve transformações organizacionais, institucionais e sociais. De forma complementar, Mendoza (2020) ressalta que o êxito desse processo depende do fortalecimento das relações entre empresas, trabalhadores e sociedade, bem como da capacidade das organizações em gerir mudanças culturais e estruturais de forma integrada.

## **vi) Influência da Indústria 4.0 na Gestão de Processos e na Tomada de Decisão**

As transformações associadas à Indústria 4.0 têm alterado de maneira significativa a forma como os processos são geridos e como as decisões são tomadas nas empresas mineradoras. A partir das entrevistas realizadas, observa-se um deslocamento gradual de um modelo decisório baseado predominantemente na experiência individual para outro sustentado pelo uso sistemático de dados, indicadores, ferramentas digitais e experiência individual e coletiva.

O entrevistado E1 sintetiza essa mudança ao afirmar que, atualmente, “*as decisões são mais rápidas e baseadas em dados, não só na experiência*”. Essa percepção também

---

<sup>1</sup> **Roadmap:** termo utilizado para designar um plano estruturado de ações, organizado em etapas e ao longo do tempo, que visa a implementação de estratégias, ou tecnologia no contexto de mineração

aparece de forma mais detalhada nas falas de E2 e E3, que destacam o papel dos *dashboards* e indicadores em tempo real no acompanhamento das operações. Segundo E2, essas ferramentas oferecem maior controle dos processos e reduzem a burocracia, enquanto E3 aponta que os *dashboards* integrados permitem respostas mais rápidas a desvios operacionais, contribuindo para maior previsibilidade e organização das atividades.

No que se refere à tomada de decisão, os entrevistados ressaltam o uso crescente de análises de dados e sistemas inteligentes. E3 menciona que a utilização de *analytics* e IA possibilita decisões baseadas em cenários simulados, reduzindo a subjetividade e apoiando escolhas alinhadas às metas organizacionais. De forma semelhante, E4 observa que as análises preditivas tornam a gestão mais ágil e contribuem para alinhar os processos produtivos aos objetivos de eficiência e sustentabilidade da empresa.

Além do aspecto tecnológico, emerge nas entrevistas a importância do papel do gestor nesse novo contexto. O entrevistado E5 destaca que a Indústria 4.0 exige uma gestão com visão de longo prazo, afirmando que os gestores precisam “*pensar nas tomadas de decisão que vão impactar futuramente, e não apenas no presente*”. Para E5, a digitalização dos dados e o uso de softwares reduzem o tempo de resposta e permitem decisões mais fundamentadas, com impactos positivos tanto operacionais quanto financeiros.

Portanto, pode-se concluir que as respostas oferecidas pelos entrevistados indicam que a Indústria 4.0 tem contribuído para uma gestão de processos mais estruturada e orientada por informações em tempo real, ao mesmo tempo em que fortalece a tomada de decisão baseada em dados. Conforme já abordado na literatura, que aponta que a digitalização e o uso de sistemas analíticos ampliam a capacidade de monitoramento, reduzem a subjetividade gerencial e favorecem decisões mais consistentes e alinhadas às estratégias organizacionais (Zhironkina; Zhironkin, 2023).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo descrever os efeitos da adoção das tecnologias da Indústria 4.0 no setor de mineração, com foco na eficiência operacional, segurança, produtividade, redução de custos e na gestão de processos e tomada de decisão. De acordo com Candia (2022), um dos aspectos centrais da Indústria 4.0 aplicada à mineração é a integração de dados, que permite a otimização dos processos com o objetivo de maximizar a rentabilidade dos empreendimentos minerais. Para atingir esse objetivo, foram utilizados dados de revisão bibliográfica e entrevistas com profissionais atuantes no setor mineral, permitindo a comparação entre o que é discutido na literatura e o que ocorre na prática organizacional.

A análise realizada evidencia que a implementação da Indústria 4.0 ainda enfrenta desafios significativos, sobretudo de natureza cultural, estrutural e tecnológica. Aspectos como a resistência à mudança organizacional, a insuficiente qualificação da mão de obra e limitações na infraestrutura tecnológica dificultam a adoção efetiva de processos digitais e automatizados nas empresas. Segundo Antunes (2022), um dos principais desafios está associado aos aspectos culturais da sociedade, que ainda não reconhece plenamente a relevância dessas transformações. Torna-se essencial investir em educação

e no desenvolvimento do capital intelectual, pois, do contrário, há o risco de formar uma sociedade despreparada para exercer funções que não podem ser substituídas. Atualmente, já existem iniciativas de capacitação profissional voltadas à transformação digital. A adaptação a essa nova cultura, com foco na ampliação da formação técnica da população, é de extrema importância, uma vez que as mudanças promovidas pela Indústria 4.0 são não apenas benéficas, mas também necessárias. Essas transformações geram impactos positivos tanto para as empresas quanto para seus clientes.

De modo geral, os relatos indicam que a superação dessas dificuldades requer uma abordagem integrada, envolvendo planejamento estratégico, investimentos contínuos em capacitação profissional e o aprimoramento da comunicação interna e externa. Além disso, o estabelecimento de parcerias estratégicas contribui para o fortalecimento das competências organizacionais necessárias à transformação digital.

Esses resultados estão alinhados à literatura, que destaca que a Indústria 4.0 vai além da introdução de novas tecnologias, demandando mudanças organizacionais e institucionais. Nesse contexto, o fortalecimento da relação entre empresas, trabalhadores e sociedade torna-se essencial para criar um ambiente favorável à inovação, à adaptação tecnológica e à competitividade.

Com tudo o estudo destaca-se o número de entrevistas e o fato de os dados terem sido coletados em apenas duas empresas do setor de mineração, o que determina o alcance analítico dos resultados ao contexto investigado. Além disso, a abordagem qualitativa adotada não permite mensurar de forma direta os impactos financeiros e produtivos das tecnologias analisadas, concentrando-se na compreensão das percepções e experiências dos participantes. Para pesquisas futuras, sugere-se ampliar o número de empresas investigadas, desenvolver estudos de caso mais aprofundados e incorporar abordagens quantitativas ou métodos mistos, de modo a possibilitar análises complementares sobre os efeitos da Indústria 4.0 no desempenho operacional das empresas mineradoras.

Conclui-se que a Indústria 4.0 tem influenciado a forma como as empresas de mineração organizam seus processos, lidam com a segurança e tomam decisões. Antunes (2022) observa-se uma tendência, nos cenários futuros da Indústria 4.0, de substituição parcial da mão de obra humana, à medida que máquinas passam a ocupar diversas funções antes desempenhadas por trabalhadores. Como consequência, novos postos de trabalho tendem a surgir. No contexto brasileiro, o avanço da Indústria 4.0 ainda é pouco promissor, uma vez que a adoção de novas tecnologias ocorre de forma lenta em relação às demandas de modernização das empresas, sobretudo devido à escassez de profissionais com qualificação técnica adequada para atuar em sistemas industriais inteligentes.

Os resultados obtidos contribuem para a compreensão desse fenômeno no contexto da Administração da Produção, ao articular evidências empíricas com a literatura existente, sem esgotar o tema, mas apontando caminhos para análises futuras.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVES, Francisco. Como Fazer Mais com Menos. **Revista Brasil Mineral**, 2019. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/763538523/Revista-Brasil-Mineral>. Acesso em: 22 jul. 2025.

ANTUNES, Reinaldo da Silva. **As Inovações da Indústria 4.0 na Mineração**. 2022.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2022. Disponível em: <https://www.eng-minas.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/170/2022/06/TCC-II-Reinaldo-da-Silva-Antunes.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2025.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016. Disponível em: <https://ime.events/ensipex2023/pdf/13668>. Acesso em: 8 jul. 2025.

CANDIA, Renan Collantes *et al.* Gestão de Banco de Dados na Indústria Mineral no Contexto da Indústria 4.0. **Brazilian Journal of Business**, [s.d.]. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJB/article/view/43505/32666>. Acesso em: 16 jun. 2025.

CRESWELL, John W. **Projeto de Pesquisa: Métodos Qualitativo, Quantitativo e Misto**. 3. ed. Porto Alegre: Penso, 2014. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=Ymi5AwAAQBAJ>. Acesso em: 8 jul. 2025.

DIAS, Amanda Ribeiro Lutterback. **Mineração 4.0: A Evolução e os Benefícios da Indústria 4.0 no Setor da Mineração**. 2023. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/21146/1/DIAS,%20A.R.L.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2025.

FARIAS, Pablo de Carvalho. **Mineração 4.0: Otimização da Manutenção Preditiva Através da Análise de Vibração**. [S.l.: s.n.], 2023. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/380441242\\_Mineracao\\_40\\_otimizacao\\_da\\_manutencao\\_preditiva\\_atraves\\_da\\_analise\\_de\\_vibracao](https://www.researchgate.net/publication/380441242_Mineracao_40_otimizacao_da_manutencao_preditiva_atraves_da_analise_de_vibracao). Acesso em: 16 jun. 2025.

GIL, Antonio Carlos. **Tipos de Pesquisa**. 2008. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/ecb/files/2009/09/Tipos-de-Pesquisa.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). **Contribuição da Indústria da Mineração para o G20 – Brasil 2024**. IBRAM, dez. 2024. Disponível em: [https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/12/IBRAM\\_Contribuicao-da-Industria-da-Mineracao-para-o-G20-Brasil-2024\\_ING.pdf](https://ibram.org.br/wp-content/uploads/2024/12/IBRAM_Contribuicao-da-Industria-da-Mineracao-para-o-G20-Brasil-2024_ING.pdf). Acesso em: 07 jan 2026.

MENDOZA, A. F. Intelligent Process in the Context of Mining 4.0: Trends, Research, Challenges and Opportunities. in: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DECISION AID SCIENCES AND APPLICATION (DASA), 2020. *Anais [...]*. [S.l.]: IEEE, 2020. DOI: 10.1109/DASA51403.2020.9317095. Acesso em: 15 jun. 2025.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani Cesar de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/49435/1/METODOLOGIA%20DO%20TRABALHO%20CIENT%20C%8DFICO.pdf>. Acesso em: 4 jul. 2025.

QUEIROZ, Laura Scur. **Impactos da Indústria 4.0 no Consumo e Produção Responsáveis na Mineração de Minério de Ferro**. 2022. Disponível em: <https://www.eng-ambiental.bh.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/187/2022/04/Laura-Scur.pdf>. Acesso em: 3 jul. 2025.

ROSA, Liane Serra da; MACKEDANZ, Luiz Fernando. **A Análise Temática como**

**Metodologia na Pesquisa Qualitativa em Educação em Ciências.** 2021. Disponível em:

[https://www.researchgate.net/publication/351175878\\_A\\_ANALISE\\_TEMATICA\\_CO\\_MO\\_METODOLOGIA\\_NA\\_PESQUISA\\_QUALITATIVA\\_EM\\_EDUCACAO\\_EM\\_CIENCIAS](https://www.researchgate.net/publication/351175878_A_ANALISE_TEMATICA_CO_MO_METODOLOGIA_NA_PESQUISA_QUALITATIVA_EM_EDUCACAO_EM_CIENCIAS). Acesso em: 10 jul. 2025.

SANTOS, Ismael Luz dos; Santos, Ruan Carlos dos JUNIOR, Daniel de Souza Silva. Análise da Indústria 4.0 como Elemento Rompedor na Administração de Produção. **Future Science Research Journal**, [s.d.]. Disponível em: <https://www.futurejournal.org/FSRJ/article/view/381/433>. Acesso em: 15 jun. 2025.

SANTOS, Rejeane Heloise dos; NOVAIS, Ana Carolina Biondo. Planejamento e Controle da Produção e Gestão de Estoque: Um Estudo em uma Empresa de Mineração. **Cadernos de Gestão Empresarial**, 2021. Disponível em: <https://periodicos.uff.br/cge/article/view/51530/30146>. Acesso em: 23 jun. 2025.

ZHIRONKINA, O.; ZHIRONKIN, S. Technological and Intellectual Transition to Mining 4.0: A Review. **Energies**, v. 16, n. 3, p. 1427, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/en16031427>. Acesso em: 10 maio 2025.

## APÊNDICE A - Roteiro da entrevista semiestruturada

1. De que forma a aplicação de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial e sistemas automatizados tem impactado a eficiência operacional e a segurança nas atividades de mineração?
2. Quais são as principais vantagens e desvantagens percebidas pelas empresas mineradoras na adoção das tecnologias da Indústria 4.0 em seus processos operacionais?
3. Como a automação, a digitalização e o uso de dados em tempo real contribuem para o aumento da produtividade e a redução de custos no setor de mineração?
4. Quais desafios técnicos, financeiros e humanos as empresas mineradoras enfrentam ao implementar tecnologias da Indústria 4.0?
5. De que maneira as organizações do setor mineral podem superar barreiras culturais, estruturais e tecnológicas para integrar as inovações da Indústria 4.0 em seus processos produtivos?
6. Como as mudanças trazidas pela Indústria 4.0 têm influenciado a gestão de processos e a tomada de decisão nas empresas mineradoras?