

APLICAÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA MINERAÇÃO

Hugo Leonardo Oliveira Tomaz de Aquino¹, Leandro de Vilhena Costa², Jônatas Franco Campos da Mata³, Luany Beatriz Amanajás de Oliveira⁴, João Vitor Ferreira Teixeira⁵

¹ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Janaúba, Brasil

(hugo.aquino@ufvjm.edu.br)

^{2,4,5} Universidade Federal de Catalão, Catalão, Brasil

³ Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Janaúba, Brasil

Resumo: A Inteligência Artificial (IA) está transformando a indústria da mineração, proporcionando melhorias significativas em eficiência, segurança, sustentabilidade e tomada de decisões. A capacidade da IA de processar grandes volumes de dados, identificar padrões e tomar decisões rápidas e precisas está impulsionando a inovação e melhorando a forma como as operações são realizadas. A aplicação dessas tecnologias avançadas têm o potencial de impulsionar a indústria de mineração para um futuro mais inteligente e responsável. A segurança é uma preocupação primordial na indústria da mineração, e a IA tem contribuído para aprimorar os padrões de segurança. Através de sensores inteligentes e algoritmos de visão computacional, é possível monitorar as condições de trabalho em tempo real e detectar riscos potenciais. Isso permite que as empresas tomem medidas preventivas para evitar acidentes e melhorem a segurança no local de trabalho. O artigo foi desenvolvido por meio da consulta de artigos científicos, dissertações, teses, sites especializados e outros documentos. Foram obtidas informações de estudos de caso de algumas mineradoras com aplicações da inteligência artificial, demonstrando os principais benefícios e desafios. O principal objetivo do artigo é descrever as aplicações mais relevantes da inteligência artificial na mineração, os benefícios e desafios proporcionados por essa inovação tecnológica. As empresas citadas aplicaram com sucesso tais tecnologias, com ganhos significativos de produtividade, custos operacionais e aderência a metas previstas de produção e qualidade. Pode-se evidenciar como principais aplicações: caminhões autônomos, controle de parâmetros do beneficiamento mineral, sistema de despacho dinâmico de equipamentos de mina, carregamento de furos com explosivos, algoritmos e sensores inteligentes de monitoramento da distância entre equipamentos e alertas de acidentes, entre outros.

Palavras-chave: Inovação; Produtividade; Segurança; Custos; Inteligência Artificial.

INTRODUÇÃO

A inteligência artificial (*Artificial Intelligence*) é teorizada por filósofos há séculos, pela análise da funcionalidade da mente humana e compreensão do raciocínio lógico, assim como a hipótese de replicá-la. Equipamentos utilizados a fim de imitar a capacidade de calcular e computar humana vem sendo desenvolvido ao longo da história, por exemplo a utilização do ábaco, relógios,

calculadoras e o desenvolvimento dos computadores modernos (Bittencourt, 2006). McCulloch e Pitts (1943) se baseiam na fisiologia básica da função neuronal do cérebro, a teoria da computação de Turing e a lógica proposicional de Russell e Whitehead. Publicaram o trabalho em que simulavam uma rede de neurônios artificiais, na qual cada neurônio possui um estado “ligado” e um estado “desligado”, dependendo dos estímulos recebidos. McCulloch e Pitts também teorizaram o aprendizado de máquina que em 1949 Donald Hebb

comprovou com seu modelo “Aprendizado de Hebb” (Russell e Norvig, 2004).

Alan Turing, em seu artigo publicado no ano de 1950 - “Computing Machinery and Intelligency”, formulou a visão de inteligência artificial atual assim como temas fundamentais na área, aprendizagem de reforço e o teste de turing (Silva, 2021).

A expressão Inteligência Artificial foi adotada oficialmente em 1956, quando Marvin Minsky e John McCarthy de Stanford sediaram o Dartmouth Summer Research (DSRPAI), um projeto de Inteligência Artificial no Dartmouth College em New Hampshire. Entre os integrantes estava o cientista da computação Nathaniel Rochester, que futuramente projetaria o IBM 701, sendo este o primeiro computador comercial, além do matemático Claude Shannon, que criou a teoria da informação (Haenlein e Kaplan, 2019). Neste encontro Herbert Simon e Allen Newell se destacaram com o programa de raciocínio Logic Theorist (LT) (Russel e Norving, 2004). O DSRPAI teve como objetivo reunir pesquisadores de áreas diversas para a geração de uma nova área de pesquisa com o intuito de construir máquinas capazes de simular a inteligência humana (Haenlein e Kaplan, 2019).

Em 1959 foi definido por Arthur Samuel o chamado Machine Learning (Aprendizado de Máquina) área da ciência da computação que objetiva com que os computadores tenham a capacidade de aprender, sem serem programados para um fim específico, diminuindo portanto o esforço em programação das mesmas (DAS *et al.*, 2015).

Joseph Weizenbaum, em 1966 no laboratório de Inteligência Artificial do MIT, programou o projeto ELIZA sendo este uma ferramenta de processamento de linguagem natural capaz de simular uma conversa com um ser humano. Em 1969, a Universidade de Stanford criou o programa DENDRAL na busca por soluções em encontrar estruturas moleculares orgânicas por espectrometria de massa das ligações químicas de uma molécula. O DENDRAL solucionou o problema devido ao seu modo automático de tomar decisões. O DENDRAL foi o primeiro sistema bem-sucedido de conhecimento intensivo, ou seja, derivado de um grande número de parâmetros de propósito específico (Russel e Norving, 2004).

John Hopfield e David Rumelhart aperfeiçoaram na década de 1980, as técnicas de “aprendizagem profunda” que possibilitaram os computadores aprenderem usando a experiência. Em 1986 o primeiro carro autônomo foi desenvolvido, denominado de Navlab 1 (Rockwell, 2017).

Edward Feigenbaum introduziu sistemas especialistas que imitavam o processo de tomada de decisão de um especialista humano. Em 1997, o campeão mundial de xadrez Gary Kasparov foi derrotado pelo programa de computador Deep Blue da IBM. (Haenlein e Kaplan, 2019).

Em 2015 o programa criado pelo Google, AlphaGo, conseguiu vencer o campeão mundial em um jogo de tabuleiro denominado Go, que é mais complexo do que xadrez. O AlphaGo obteve um alto desempenho usando a rede neural, Deep Learning. Redes neurais artificiais, Deep Learning e Processamento de Linguagem Natural são a base da maioria das aplicações de IA. Eles são a base dos algoritmos de reconhecimento de imagem usados pelo Facebook, reconhecimento de fala usados pela Alexa, carros autônomos e chatbots como exemplo o chat GPT. (Haenlein; Kaplan, 2019).

Atualmente, se possui acesso a uma vasta quantidade de dados sobre diversos setores da indústria. Os computadores e sensores se tornaram mais poderosos associados ao crescente desenvolvimento da Inteligência Artificial. Dessa forma, houve um significativo aumento da variedade e volume de dados, superando a capacidade dos bancos de dados convencionais e das análises manuais, denominado Big Data. A indústria da mineração também vem sendo transformada pelas novas tecnologias, que associadas ao uso de sistemas de informação, resultaram em um significativo aumento de dados gerados a cada instante, contribuindo para um planejamento e gestão mais consciente, além da utilização de equipamentos autônomos (Silva *et al.*, 2018).

Casey (2019) relata que a mineradora Vale investiu fortemente em tecnologias inovadoras, incluindo simuladores 3D para treinar trabalhadores na operação de máquinas de grande porte. O centro é responsável por gerenciar os projetos de IA existentes da empresa, incluindo o gerenciamento da planta de processamento controlado por computador e o uso da tecnologia para melhorar os controles de saúde e segurança.

A Vale estima que seus projetos de IA existentes economizaram para a empresa mais de US\$ 20 milhões em economias anuais e espera que as iniciativas gerem mais US\$ 37 milhões em benefícios. O programa com foco na manutenção dos equipamentos gerou uma economia de US\$ 8 milhões através da análise dos dados das rotas dos caminhões e aumentou a vida útil dos pneus em 30% com a otimização dos percursos. O outro programa utilizou a inteligência artificial para detectar falhas operacionais em caminhões fora de estrada com antecedência diminuindo a incidência de quebra dos equipamentos (Casey, 2019).

Nem todas as inovações são iguais e nem seguem uma tendência constante de crescimento. Em vez disso, sua evolução assume a forma de uma curva em forma de S, Figura 1, que reflete seu ciclo de vida típico desde o surgimento inicial até a adoção acelerada, antes de finalmente se estabilizar e atingir a maturidade.



Figura 1 - Curva S (Global Data, 2023)

As principais aplicações da inteligência artificial na mineração (análise de dados, planejamento, automação dos equipamentos, processamento de minério e monitoramento de segurança). Há outras aplicações, porém este artigo se limita apenas a essas cinco aplicações.

O principal objetivo do artigo é descrever as aplicações mais relevantes da inteligência artificial na mineração, os benefícios e desafios proporcionados por essa inovação tecnológica.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida através da consulta de artigos científicos, dissertações, teses, sites especializados e outros documentos obtidos através da internet. Foram obtidas informações de estudos de caso de algumas mineradoras com aplicações da

inteligência artificial, demonstrando os benefícios e desafios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as aplicações da Inteligência Artificial em plantas de processamento de minérios, destaca-se a utilização de modelos matemáticos para a predição da granulometria a ser obtida em instalações de cominuição. Tais modelos são baseados em equações experimentais, combinadas a princípios fenomenológicos apoiados em processos físicos, químicos e de engenharia (Souza, 2014). Silva, Alves e Savio (2022) apresentaram uma aplicação prática de redes neurais artificiais para estimar o percentual retido na malha de 0,15 mm no produto de uma planta de moagem. Verificou-se que os resultados deste sistema, em relação à granulometria efetivamente obtida, apresentaram um erro médio de aproximadamente 0,92 %, sendo satisfatório para embasar as decisões dos operadores da planta antes da obtenção dos resultados de laboratório e apoiando o controle de processo. Verificou-se, além disso, a possibilidade dos dados gerados alimentarem sistemas especialistas e de controle avançado, possibilitando a redução do consumo energético da moagem.

Por sua vez, o sistema de análise de imagem de espuma e analisador de sílica online é uma tecnologia atualmente utilizada em usinas de concentração mineral por flotação. Tal sistema é baseado na geração de imagens, através de câmeras integradas a softwares, das bolhas contidas no overflow das células de flotação, além da análise do teor de sílica contida. O processamento destas informações permite a automação das decisões de controle de processo, trazendo estabilização ao processo e padronização da operação (Valadares e Fernandes, 2019). A Figura 2 apresenta algumas imagens de bolhas na flotação, geradas por este sistema inteligente.



Figura 2 - Imagens de bolhas de flotação (Valadares e Fernandes, 2019)

Dentre os amplos cenários da inteligência artificial e da automação de processos na mineração, pode-se destacar também o avanço tecnológico dos equipamentos de mina, como por exemplo na área de desmonte. O desmonte de rochas na mineração é

o processo de desagregação de materiais de um corpo maciço dentro da mina, mediante a explosão de um ou múltiplos furos, para formar plataformas horizontais (Bonchis *et al.*, 2014). Esse processo de transformação de um bloco em partes menores, requer maior atenção pelo grau de periculosidade envolvido, além dos impactos gerados ao meio ambiente pela produção de gases, ruído e poeira (Pereira e Santos, 2016).

Dessa forma, otimizar os parâmetros de detonação objetivando maior eficácia e segurança do processo sempre foi uma pauta importante diante dos engenheiros. Ferreira *et al.* (2017) demonstraram a simulação de implementação de uma plataforma móvel e autônoma para carregamento de explosivos na mineração. Buscou-se proporcionar melhor produtividade do processo e maior segurança, utilizando-se um robô equipado com um braço manipulador, conforme a Figura 3.



Figura 3 - Robô usado para o carregamento dos furos com explosivos (Ferreira *et al.*, 2017).

Com isso, foi objeto de estudo a comparação do enchimento do furo com explosivos tradicionais, que é feita por uma equipe e equipamentos preparados para ser feito manualmente. E por outro lado, foi feita a simulação das técnicas que seriam executadas pelos operadores, mas agora, feita por uma plataforma móvel equipada com um braço articulado. Essa simulação foi feita trabalhando com três aspectos do carregamento autônomo, navegação autônoma, processamento de imagens para detecção do furo e manipulação do braço robótico. E também, o processamento de dados do sistema do robô foi feito por um computador acoplado ao próprio equipamento e outro externo (Ferreira *et al.*, 2017).

A sequência das operações foi realizada em ambiente fechado, para se aproximar da realidade operacional. Foi alcançado um ótimo nível de sucesso nestas simulações. Espera-se aperfeiçoar a produtividade e segurança, em comparação ao método tradicional.

Para otimizar os custos de carregamento e transporte, nos últimos anos, algumas empresas estão adquirindo caminhões autônomos que permitem o controle por meio de inteligência artificial. De acordo com Rivera (2014), o sistema de segurança dos caminhões possuem sensores que detectam diversos tipos de obstáculos, como rochas grandes, veículos de apoio, outros equipamentos tripulados, objetos próximos da passagem e pessoas que estejam trabalhando na mina. Desta forma, riscos como capotamentos, atropelamentos e colisões podem ser gerenciados. A Figura 4 mostra o funcionamento do sistema de detecção de obstáculos apresentado por Rivera (2014).



Figura 4 - Sistema de detecção de obstáculos (Rivera, 2014).

Para isso, o sistema GPS informa aos caminhões sua localização e rotas disponíveis e transmite essas informações para um banco de dados de satélite, permitindo que os operadores na sala de controle, em conjunto com o algoritmo, determinem a melhor rota para cada caminhão, com base no mapa da mina (Rivera, 2014).

Empresas como a Vale, BHP Billiton e a Rio Tinto alavancaram essa tecnologia e seus custos operacionais reduziram em 15% em comparação com caminhões operados manualmente (Hyder *et al.*, 2018). Por meio do controle autônomo, pode-se obter uma vida útil mais longa do equipamento e de seus componentes, além de oferecer às mineradoras maiores benefícios ambientais e segurança à vida do trabalhador (Rivera, 2014). Por essa razão, além de caminhões de transporte autônomos, carregadeiras, trens e escavadeiras autônomas também foram desenvolvidos para

atender às necessidades da indústria de mineração (Antunes, 2022).

A inteligência artificial também tem sido utilizada pela Vale para o monitoramento remoto de suas barragens, após os acontecimentos dos rompimentos das barragens (2015 e 2019). A empresa elevou significativamente os investimentos em tecnologias que possibilitam um monitoramento mais preciso. Através de equipamentos como câmeras, estações robóticas (capazes de detectar movimentações milimétricas na estrutura das barragens) e piezômetros automatizados (dispositivo que mede a temperatura, pressão e volume da água) tornou-se possível coletar os dados em tempo real. As informações são analisadas de forma contínua, permitindo que sejam tomadas medidas preventivas e corretivas de forma rápida e segura (Vale, 2022).

Samora (2019) menciona que o processo de importação e consolidação dos dados gerados pelos sensores é lento e complicado, suscetível a erros devido a inúmeros tipos de dados processados. Com a utilização da inteligência artificial é possível analisar os dados de forma precisa e sem erros. O autor cita que a implementação dessa tecnologia, em apenas 5 dias, na maior barragem de rejeitos da América do Norte, economizou US\$ 218 mil no tempo de construção, além de possibilitar uma maior disponibilidade de dados e redução dos custos em US\$ 143 mil. A Figura 5 apresenta um sistema de monitoramento de barragens da Vale.



Figura 5 - Monitoramento e segurança das barragens

A Figura 6 mostra um caminhão autônomo para mineração com alta capacidade de carga que incorpora novas tecnologias como radar, GPS, sensores e inteligência artificial para permitir que ele se mova sem motorista.



Figura 6 - Caminhão autônomo da mina de Brucutu em Minas Gerais (Vale, 2018).

Diante da automação crescente das operações de mina, os principais equipamentos de extração mineral desempenham um papel importante para todo o circuito de operação, sendo utilizados até a fase final de beneficiamento. Pode-se citar, neste caso, as carregadeiras, que usualmente efetuam a alimentação das usinas de beneficiamento mineral. Desta forma, qualquer alteração na produtividade nesta etapa pode ter um efeito dominó nos processos subsequentes, a jusante (Shariati *et al.*, 2019).

Nesse segmento, combinando escavadeiras e caminhões autônomos, é possível alcançar elevações significativas na produtividade, além de diminuir os custos de mão de obra e manutenção dos equipamentos. Shariati *et al.* (2019) relata um modelo de pás inteligentes, utilizando detecção de objetos *multiframe* no cenário de operação de escavadeiras autônomas, auxiliando na detecção de objetos que não fazem parte do material a ser extraído, como dentes de escavadeiras que podem se soltar.

A Figura 6 exibe de que forma são vistas as caixas delimitadoras em diversos modelos de equipamentos, utilizando o modelo de detecção de objetos *multiframe*. As delimitações azuis escuras capturam o balde, as delimitações verdes detectam dentes e objetos de linha de dentes. Por sua vez, as delimitações vermelhas exibem material fino dentro do balde e delimitações azuis claras detectam baldes vazios.

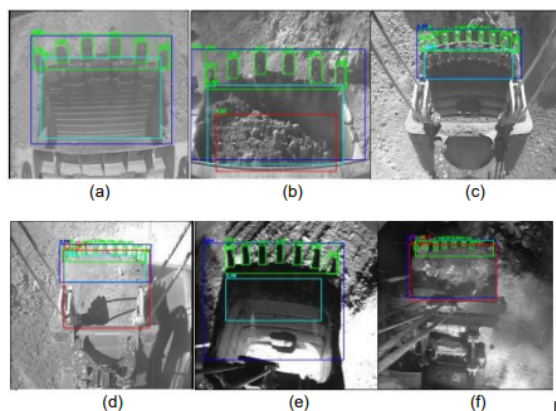


Figura 7 - Caçamba Hidráulica Vazia (a), Caçamba Hidráulica Cheia (b), Caçamba Bucyrus Vazia (c), Caçamba Bucyrus Cheia (d), Caçamba P&H Vazia (e), Caçamba P&H Cheia (f). (Shariati, H; Yeralivev, A; Teraï, B; et al. 2019).

CONCLUSÃO

As tecnologias de inteligência artificial têm sido utilizadas para o controle dos processos de beneficiamento mineral, bem como automação dos equipamentos da mina (caminhões, perfuratrizes e escavadeiras), auxílio no carregamento de explosivos, dimensionamento do plano de fogo com rede neurais e planejamento da produção. Estas tecnologias estão revolucionando a indústria da mineração, possibilitando às empresas alcançarem maior eficiência, segurança e sustentabilidade. Embora haja desafios a serem enfrentados, os benefícios potenciais são evidentes. A aplicação dos caminhões autônomos, por exemplo, melhoram a produtividade, minimizam os riscos para os colaboradores e permitem um uso mais eficiente dos recursos. A análise de grande volume de dados permite, por sua vez, otimizar o plano de fogo, com melhor fragmentação, menor vibração e maior aderência com relação às metas previstas pela planta de beneficiamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio dos docentes e discentes dos cursos de Engenharia de Minas das universidades UFVJM e UFCAT pela colaboração na pesquisa e elaboração do artigo.

REFERÊNCIAS

ANTUNES, Reinaldo da Silva. As inovações da indústria 4.0 na mineração. 2022. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Minas, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Araxá, 2022.

BITTENCOURT, Guilherme. Inteligência artificial: ferramentas e teorias. 2. Ed. Florianópolis: UFSC, Ed. da Universidade, 2006.

BONCHIS, Adrian; DUFF, Elliot; ROBERTS, Jonathan e BOSSE, Mike. Robotic explosive charging in mining and construction applications, IEEE T-ASE 11(1): 245–250, 2014.

CASEY. JP. Vale opens artificial intelligence centre in Brazil. 17 jan 2019. Disponível em: <https://www.mining-technology.com/news/vale-opens-artificial-intelligence-centre-in-brazil/>. Acesso em: 17 maio 2023.

DAS, Sumit.; DEY, Arita.; PAL, Akash.; ROY, Nabamita. Applications of Artificial Intelligence in Machine Learning: Review and Prospect. International Journal of Computer Applications, v. 115, N. 9, p. 31-41, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5120/20182-2402>. Acesso em: 05 maio 2023.

DIAS, Aldilene Oliveira Maia. Aprendizado de máquina aplicado a predição de falhas em caminhão fora de estrada. 2020. 77 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Controle e Automação., Universidade Federal de Ouro Preto e do Instituto Tecnológico Vale, UFOP, 2020. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/bitstream/1234567>. Acesso em: 17 maio 2023.

FERREIRA, Jhony Alan; FIDÊNCIO, Aline Xavier; AZPÚRUA, Héctor; FREITAS, Gustavo Medeiros; MIOLA, Wilson. Implementação de uma plataforma móvel e autônoma para carregamento de explosivos na mineração, XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Porto Alegre, outubro de 2017. Disponível em: https://www.sba.org.br/Proceedings/SBAI/SBAI2017/SBAI17/papers/paper_217.pdf. Acesso em: 20 de maio 2023.

GOMES, Dennis dos Santos. Inteligência Artificial: Conceitos e Aplicações. Olhar Científico, Ariquemes, v. 02, n. 01, p. 234-246, 17 nov. 2010.

GLOBAL DATA. Artificial intelligence innovation: Leading companies in autonomous navigation for the mining industry. [S. l.], 14 mar. 2023.

Disponível em:
<https://www.mining-technology.com/data-insights/innovators-autonomous-navigation-mining-2/>.
Acesso em: 17 maio 2023.

HAENLEIN, Michael; KAPLAN, Andreas. A Brief. History of Artificial Intelligence: On the Past, Present, and Future of Artificial Intelligence, Berkeley Haas, California Management Review 2019, Vol. 61(4) 5–14, The Regents of the University of California 2019.

HYDER, Zeshan; SIAU, Keng; NAH, Fui-Hoon. Use of artificial intelligence, machine learning, and autonomous technologies in the mining industry. Thirteenth Annual Midwest Association for Information Systems Conference. St. Louis, Missouri. 2018.

LISOWSKI, Edwin. How is AI enhancing the mining industry? 18 jul. 2022. Disponível em: <https://addepto.com/blog/how-is-ai-enhancing-the-mining-industry/>. Acesso em: 15 maio 2023.

RIVERA, Julio Renato. Efectos de la incorporación de tecnologías autónomas en el diseño y la planificación minera. 2014. Memoria (ingeniero civil de minas) - Universidad de Chile departamento de Ingeniería de Minas, Santiago de Chile, 2014. Disponível em: URI: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/131395>. Acesso em: 1 maio 2023

PEREIRA, Ranieri de Araújo; SANTOS, Maria Betania. Gerenciamento de riscos nas atividades de desmonte de rochas com explosivos. XXXVI Encontro Nacional De Engenharia De Produção, João Pessoa, PB, 2016.

SAMORA, Hélio. O uso da Internet das Coisas no monitoramento de barragens e mineradoras. 2019. Disponível em: <https://cryptoid.com.br/criptografia-identificacao-digital-id-biometria/o-uso-da-internet-das-coisas-no-monitoramento-de-barragens-e-mineradoras/>. Acesso em: 25 jun. 2023.

SHARIATI, Hooman; YERALIYEV Anuar; TERAİ, Burhan; TAFAZOLI, Shaham; Ramezani, Mahdi. Towards autonomous mining via intelligent excavators. Proc. IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recogn. (CVPR), pp. 26-32, 2019.

ROCKWELL, Anyoha. Can Machines Think?, Happy reading, SITN Editorial Staff, August 28, 2017.

ROCKWELL, Anyoha. Can Machines Think? 2017. Disponível em:

<https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/history-artificial-intelligence/>. Acesso em: 4 maio 2023.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. Inteligência Artificial. 2. Ed. Rio de Janeiro, 2004.

SILVA, Daniel Henrique Cordeiro; ALVES, Vladimir Kronemberger; SAVIO, Ernandes. Redes neurais artificiais aplicadas à moagem de minério de ferro combinadas a modelos empíricos. Research, Society and Development, v. 11, n. 13, 2022.

SILVA, Ranyere Sousa. Aprendizado de máquina aplicado ao planejamento de lavra de curto prazo para o aumento do desempenho operacional de equipamentos de mina. Curso de Engenharia de Minas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

SILVA, R. S.; DE TOMI, G.; BEZERRA, E. B.; CHAVES, A. P. A mineração de dados como suporte ao planejamento de lavra. 9º Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto e Mina Subterrânea. Minas Gerais, Belo Horizonte, p 15, 2018.

SOUZA, Ernandes Sávio de. Controle Automático de Circuitos de Moagem. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, Porto Alegre: Escola de Engenharia da UFRGS. 2014.

VALADARES, Jonatan Rodrigues; FERNANDES, Márcio Silva: Análise do desempenho do sistema de visão em células de flotação no controle do processo em uma mineradora de ouro. Anais do 1º Simpósio de TCC, das faculdades FINOM e Tecsoma. 2019; 1001-1017.

VALE. Revista balanço da reparação. Disponível em: https://www.vale.com/documents/d/guest/Revista_Balanco_Reparacao_FINAL_pgs_duplas%201. 2022. Acesso em 23 mai. 2023.