



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO E TÉCNICAS
FUNDAMENTAIS**



Eron Antônio Lage

**CONTROLE E AUTOMAÇÃO NA INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO, ESTUDO DE
CASO**

**OURO PRETO – MG
2021**

Eron Antonio Lage

**CONTROLE E AUTOMAÇÃO NA INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO, ESTUDO DE
CASO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para obtenção de Grau em Engenheiro de Controle e Automação.

Orientador: Professor Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro

**OURO PRETO – MG
2021**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

L174c Lage, Eron Antonio .
Controle e automação na indústria da Mineração, estudo de caso.
[manuscrito] / Eron Antonio Lage. - 2021.
48 f.: il.: color., gráf..

Orientador: Prof. Dr. Paulo Marcos de Barros Monteiro.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia de Controle e Automação .

1. Controle automático . 2. Automação industrial. 3. Minerais
industriais - Indústria. 4. Minas e recursos minerais . I. Monteiro, Paulo
Marcos de Barros. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 681.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716

27/05/2021

SEI/UFOP - 0176396 - Folha de aprovação do TCC



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CONTROLE E AUTOMACAO



FOLHA DE APROVAÇÃO

Digite o nome do autor (Apenas a primeira letra de cada nome, maiúscula)

Eron Antônio Lage

Digite o título (Use letras maiúsculas apenas nos casos previstos nas regras ortográficas)

Controle e Automação na Indústria da Mineração - Estudo de Caso

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação

Aprovada em 23 de abril de 2021

Membros da banca

Dr Paulo Marcos de Barros Monteiro - Orientador (Escola de Minas- UFOP)
Dr Agnaldo José Rocha Reis (Escola de Minas - UFOP)
Dr.a Karla Boaventura Pimenta Palmieri (Escola de Minas - UFOP)

Paulo Marcos de Barros Monteiro, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 27/05/2021



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Marcos de Barros Monteiro, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 27/05/2021, às 20:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_externo=0, informando o código verificador **0176396** e o código CRC **00CC541B**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 231.09.005287/2021-94

SEI nº 0176396

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Piar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000
Telefone: 3135591533 - www.ufop.br

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente a minha esposa e meus filhos pelo apoio e seguirem firmes ao meu lado, acreditando nos meus sonhos e sempre fazendo parte deles. Agradeço aos meus familiares, em especial em memória da minha mãe, por sempre ter me incentivado a estudar nesta bela instituição.

Agradeço a Escola de Minas e seus mestres, em especial a Karla Palmieri, Paulo Monteiro e Agnaldo Reis, exemplos de mestres, sempre solidários e dispostos a ajudar com transparência e honestidade.

Agradeço aos meus colegas de curso, pelos belos momentos vividos de muito aprendizado. Com certeza, amizades para toda a vida.

Agradeço a Deus, que diante de toda as dificuldades vividas sempre me mostrava o caminho a ser seguido e nunca deixou que minha fé abalasse.

RESUMO

O objetivo é analisar a implantação de controle e automação na indústria da mineração através de revisão bibliográfica. Esforços crescentes estão sendo feitos para implantar a automação em toda a indústria de mineração, à medida que as empresas buscam adotar a tecnologia para melhorar os padrões de segurança e eficiência. Nas últimas décadas, a automação na indústria de mineração reduziu gradualmente o papel desempenhado pelo minerador na mina, afastando-os cada vez mais da superfície do carvão. Avanços recentes na robótica autônoma prometeram levar esse processo à sua conclusão lógica. A mineração é um negócio tradicionalmente analógico. Afinal, o símbolo da indústria em todo o mundo é um martelo e uma picareta. No entanto, apesar da reputação antiquada do setor, algumas grandes empresas de mineração estão assumindo uma postura progressiva e provando que a digitalização e a automação podem alcançar resultados operacionais muito melhores. Tratou-se de revisão da literatura, baseando-se na busca de artigos publicados entre 2013 a 2020. As bases de dados utilizadas serão: SCIELO (Scientific Electronic Library Online); Google acadêmico.

Palavras-chave: Controle e automação, Indústria e Mineração.

ABSTRACT

The objective is to analyze a control and automation implantation in the mining industry through the bibliographic review. Increasing efforts are being made to deploy automation across the mining industry, as companies seek to adopt the technology to improve safety and efficiency standards. In the past few decades, automation in the mining industry has gradually reduced the role played by the miner in the mine, moving them further and further away from the surface of the coal. Recent advances in autonomous robotics have promised to bring this process to its logical conclusion. Mining is a traditionally analog business. After all, the symbol of the industry worldwide is a hammer and a pick. However, despite the industry's old-fashioned reputation, some large mining companies are taking a progressive stance and proving that digitization and automation can achieve much better operating results. It was a review of the literature, based on the search for articles published in 2013 to 2020. The databases used will be: SCIELO (Scientific Electronic Library Online); Academic Google.

Keywords: *Control and automation, Industry e Mining.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Rio Tinto.....	22
Figura 2: Vale.....	244
Figura 3: Anshan.....	266
Figura 4: NMDC.....	28
Figura 5: Polyus.....	308
Figura 6: Rocha agregado de minerais.....	34
Figura 7: Moinho vertical.....	35
Figura 8: Células de flotação.....	36
Figura 9: Circuito de amostragem manual.....	38
Figura 10: Gráfico produção usina I.....	39
Figura 11: PSI 500.....	40
Figura 12: Circuito PSI 500.....	41
Figura 13: Circuito usina moagem vertical.....	42
Figura 14: Gráfico produção usina II.....	42
Figura 15: Fluxograma da planta sem controle.....	43
Figura 16: Fluxograma da planta com controle.....	43

LISTA DE SIGLAS

CAGR – Calculate Compound Annual Growth Rate

CNC - Controle Numérico Computadorizado

DCS - Sistema de Controle de Distribuído

FPGAs - Matrizes de Portas Programáveis em Campo

IHM - Interface Homem-Máquina

PACs - Controladores de Automação Programáveis

CLPs - Controladores Lógicos Programáveis

RTDs - Simulador Digital em Tempo Real

SCADA - Controle de Supervisão e Aquisição de Dados

PSI - Particle Size Instrument

JV – Joint Venture

IAI – Israel Aerospace Industries

PC – Personal Computer

IoT – Internet of Things

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1.2. OBJETIVOS	14
1.2.1. GERAIS	14
1.2.2. ESPECÍFICOS	14
1.3. JUSTIFICATIVA	14
2. CONTROLE E AUTOMAÇÃO	16
2.1. HIERARQUIA DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	17
2.1.1. Nível de campo	17
2.1.2. Nível de Controle	18
2.1.3. Nível de Supervisão e Controle de Produção	18
2.1.4. Nível de informação ou empresa	18
2.2. TIPOS DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL	19
2.2.1. Automação fixa ou rígida	19
2.2.2. Automação programável	19
2.2.3. Automação flexível ou suave	20
3. INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO NO MUNDO	20
3.1. AUSTRÁLIA: 930 MILHÕES DE TONELADAS	21
3.2. BRASIL: 480 MILHÕES DE TONELADAS	22
3.3. CHINA: 350 MILHÕES DE TONELADAS	25
3.4. ÍNDIA: 210 MILHÕES DE TONELADAS	27
3.5. RÚSSIA: 99 MILHÕES DE TONELADAS	29
4. ESTUDO DE CASO	32
4.1. GRAU DE LIBERAÇÃO DAS PARTICULAS	33
4.2. MOINHO VERTICAL	35
4.3. CELULAS DE FLOTAÇÃO	36
4.4. CENÁRIO OPERACIONAL SEM CONTROLE DE PROCESSO	37
4.5. PROBLEMAS OPERACIONAIS	38
4.6. SOLUÇÃO ADOTADA	40
4.7. DADOS COMPARATIVOS DOS BENEFÍCIOS DA ADIÇÃO DO CONTROLE DE PROCESSOS	43
5. CONCLUSÃO	45
6. METODOLOGIAS	46
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A competitividade cada vez maior de hoje na indústria exige produtos de alta qualidade e consistentes com um preço competitivo. Para enfrentar esse desafio, várias indústrias estão considerando vários projetos de novos produtos e técnicas de manufatura integradas em paralelo com o uso de dispositivos automatizados.

Um dos movimentos marcantes e influentes para obter as soluções do desafio encontrado acima mencionado é a automação industrial. A automação industrial facilita o aumento da qualidade, confiabilidade e taxa de produção do produto, ao mesmo tempo que reduz os custos de produção e *design* ao adotar tecnologias e serviços novos, inovadores e integrados (ALMEIDA, 2019).

A indústria de mineração está enfrentando uma difícil decisão. Uma indústria fortemente tradicional, a mineração está agora em um momento crítico em que adotará novas tecnologias ou será deixada para trás. A indústria de mineração foi na verdade uma das primeiras indústrias, junto com a defesa, a adotar a tecnologia de automação, mas desde essa primeira etapa, não houve muito progresso. Nos últimos anos, a indústria de mineração tem enfrentado crescente pressão ambiental, social e baseada em recursos para mudar a forma como opera. Como resultado indireto de ser tão obstinado, a automação generalizada pode ser a única maneira de atualizar a indústria de mineração (ALVES, 2019).

A mineração é uma indústria composta. Extrair da crosta terrestre matéria-prima de diferentes formas, tamanhos e composições químicas e transformá-la em um produto final padronizado e de alta qualidade é um desafio e tem levado a indústria a optar por soluções que melhorem sua eficiência e produtividade. Normalmente as minas estão localizadas em áreas remotas e a adoção da automação ajuda na melhor utilização dos recursos (ARNOLD; KIEL; VOIGT, 2017).

As tecnologias autônomas trazem benefícios que não podem ser negligenciados, pois afetam toda a cadeia de valor da indústria de mineração e, também das indústrias que dependem da mineração para suas necessidades de matéria-prima. Prevê-se que as empresas que implementam tecnologias de automação percebam rapidamente um aumento significativo na produtividade e uma diminuição nos gastos com a implementação correta (BITKOM; VDMA, 2016). Além disso, também está em jogo a segurança operacional onde, a indústria deverá se beneficiar de um aumento considerável nas práticas de segurança. Identificar processos e procedimentos operacionais, ajuda a abordar os pontos inseguros e, o desenvolver de *softwares* de saúde e segurança (SOP) para mitigar esses riscos são os principais aliados.

Entretanto, com o uso de equipamentos automatizados, que podem ser manobrados em áreas inseguras e locais desafiadores, as mineradoras podem enviar menos mineiros para o subsolo enquanto extraem uma maior produção, com menor risco para seus funcionários. Por exemplo, depois de implementar tecnologias autônomas em várias de suas minas africanas, a Randgold Resources reduziu a taxa de ferimentos trimestre a trimestre em 29% (DNPM, 2014).

A demanda por equipamentos de automação na indústria é impulsionada principalmente pela necessidade crescente de aumentar a produtividade e melhorar a segurança dos trabalhadores. O surto de COVID-19 causou a demanda por automação e deve aumentar no longo prazo, principalmente para lidar com a escassez de mão de obra e custos crescentes.

Dentro da indústria de mineração, a situação provavelmente variará de commodity para commodity. A mineração de commodities, como ouro, minério de ferro e urânio, manteve-se a dinâmica operacional. Em contraste, commodities como carvão térmico e carvão metalúrgico sofreram mais pressão, já que a commodity está totalmente exposta à demanda do consumidor.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. GERAIS

Analisar a implantação de controle e automação na indústria da mineração, apresentando um estudo de caso para um processo de concentração do minério de cobre.

1.2.2. ESPECÍFICOS

- Analisar o conceito de controle e automação;
- Relatar a automação na indústria mineradora;
- Discutir a aplicação da automação na indústria de minério de ferro.
- Apresentar um estudo de caso, envolvendo automação e a indústria.

1.3. JUSTIFICATIVA

Esforços crescentes estão sendo feitos para implantar a automação em toda a indústria de mineração, à medida que as empresas buscam adotar a tecnologia para melhorar os padrões de segurança e eficiência. Nas últimas décadas, a automação na indústria de mineração reduziu gradualmente o papel desempenhado pelo minerador na mina, afastando-os cada vez mais das frentes de lavras e transferindo para ambientes com melhores condições de trabalho evitando danos à saúde do profissional. Por outro lado, a necessidade de desenvolver o funcionário para lidar com os avanços tecnológicos ainda é um dos principais desafios.

A mineração é um negócio tradicionalmente analógico. Afinal, o símbolo da indústria em todo o mundo é um martelo e uma picareta. No entanto, apesar da reputação antiquada do setor, algumas grandes empresas de mineração estão assumindo uma postura progressiva e provando que a digitalização e a automação podem alcançar resultados operacionais muito melhores (IBRAM, 2016). Para isso as empresas contam com a indústria 4.0, na mineração conhecida como Mine 4.0, que engloba um amplo sistema de tecnologias avançadas como inteligência artificial, robótica, internet das coisas e computação em nuvem. Como toda revolução, a Indústria 4.0 vai trazer consigo alguns desafios. Afinal, é preciso mudar antigos

conceitos de negócios, avaliar as novas opções disponíveis e investimentos significativos terão que ser feitos em todos os setores da economia e da sociedade. Empresas que têm um formato de administração tradicional correm o sério risco de ficarem obsoleta e, governos que não têm visão de futuro também terão grande dificuldade de se adaptar a um novo formato de consumo e de mudança digital. Entender as novas exigências dos consumidores e adaptar o modelo de negócio e o processo produtivo a essa nova realidade não é um trabalho fácil. No entanto, se adaptar com agilidade e assertividade fará toda a diferença para manter o negócio competitivo, por esse motivo precisamos a cada dia nos aprofundar mais neste universo da indústria do controle e automação com um olhar de maior amplitude e mentes totalmente abertas para novas oportunidades.

2. CONTROLE E AUTOMAÇÃO

A mecanização é a operação manual de uma tarefa usando maquinário motorizado que depende da tomada de decisão humana. Por outro lado, a automação substitui o envolvimento humano com o uso de comandos com programação lógicos e máquinas poderosas (NOLAN, 2019).

Automação Industrial é a substituição do pensamento humano por computadores e máquinas. A palavra automação dá o significado de “auto ditado” ou “um mecanismo que se move por si mesmo” derivado das palavras gregas Auto e Matos, onde Auto significa self enquanto Matos significa se mover. Em suma, a automação industrial pode ser definida como o uso de tecnologias definidas e dispositivos de controle automático que, resultam na operação automática e no controle de processos industriais sem intervenção humana significativa, alcançando desempenho superior ao controle manual. Esses dispositivos de automação incluem CLP's (Controladores Lógicos Programáveis) e PAC's (Controladores de Automação Programáveis), etc. e as tecnologias incluem vários sistemas de comunicação industrial (PAIOLA, 2019).

A automação da fábrica, planta de manufatura ou processo melhora a taxa de produção por meio de um controle da produção otimizado. Ajuda a produção em massa, reduzindo drasticamente o tempo de montagem por produto, com uma maior qualidade de produção. Portanto, para um dado insumo de trabalho, ele produz uma grande quantidade de produto.

A integração de vários processos na indústria com máquinas automatizadas, minimiza os tempos de ciclo e esforço e, portanto, a necessidade de trabalho humano é reduzida. Assim, o investimento em funcionários foi economizado com a automação.

Como a automação reduz o envolvimento humano, a possibilidade de erros humanos também é eliminada. A uniformidade e a qualidade do produto com maior

conformidade podem ser mantidas com a automação, controlando e monitorando de forma adaptativa os processos industriais em todas as etapas, desde o início da produção até o produto.

A automação reduz completamente a necessidade de verificação manual de vários parâmetros do processo. Aproveitando as vantagens das tecnologias de automação, os processos industriais ajustam automaticamente as variáveis do processo para valores definidos ou desejados usando técnicas de controle de malha fechada. Aumenta o nível de segurança do pessoal, substituindo-os por máquinas automatizadas em condições de trabalho perigosas. Tradicionalmente, robôs industriais e dispositivos robóticos são implementados em locais tão arriscados e perigosos.

2.1. HIERARQUIA DE UM SISTEMA DE AUTOMAÇÃO INDÚSTRIAL

2.1.1. Nível de campo

É o nível mais baixo da hierarquia de automação que inclui os dispositivos de campo como sensores e atuadores. A principal tarefa desses dispositivos de campo é transferir os dados de processos e máquinas para o próximo nível superior para monitoramento e análise. E inclui o controle dos parâmetros do processo através de atuadores. Por exemplo, podemos descrever este nível como olhos e braços de um processo particular (ALVES, 2019).

Os sensores convertem os parâmetros de tempo real como temperatura, pressão, fluxo, nível, etc. em sinais elétricos. Esses dados do sensor são posteriormente transferidos para o controlador para monitorar e analisar os parâmetros em tempo real. Alguns dos sensores incluem termopar, sensores de proximidade, RTDs, medidores de fluxo, etc.. Por outro lado, os atuadores convertem os sinais elétricos (dos controladores) em meios mecânicos para controlar os processos. Válvulas de controle de fluxo, válvulas solenóides, atuadores pneumáticos, relés, motores DC e servo motores são exemplos de atuadores (ARNOLD; KIEL; VOIGT, 2017).

2.1.2. Nível de Controle

Este nível consiste em vários dispositivos de automação com máquinas que adquirem os parâmetros do processo de vários sensores. Os controladores automáticos acionam os atuadores com base nos sinais processados do sensor e no programa ou na técnica de controle.

Os controladores lógicos programáveis (CLP) são controladores industriais robustos mais amplamente usados, capazes de fornecer funções de controle automático com base na entrada de sensores. É composto por vários módulos como CPU, E/S analógica, E/S digital e módulos de comunicação. Ele permite que o operador programe uma função de controle ou estratégia para realizar certas operações automáticas no processo.

2.1.3. Nível de Supervisão e Controle de Produção

Neste nível, os dispositivos automáticos e o sistema de monitoramento facilitam as funções de controle e intervenção como Interface Homem-Máquina (IHM), supervisão de vários parâmetros, definição de metas de produção, arquivamento de histórico, definição de partida e desligamento de máquina, etc.. Principalmente, as IHMs do Sistema de Controle de Distribuído (DCS) ou Controle de Supervisão e Aquisição de Dados (SCADA) são popularmente usados neste nível.

2.1.4. Nível de informação ou empresa

Este é o nível superior da automação industrial que gerencia todo o sistema de automação. As tarefas deste nível incluem o planejamento da produção, análise de clientes e mercado, pedidos e vendas etc. Portanto, trata-se mais de atividades comerciais e menos de aspectos técnicos.

As redes de comunicação industrial são mais proeminentes em sistemas de automação industrial que transferem a informação de um nível para outro. Portanto, estes estão presentes em todos os níveis do sistema de automação para proporcionar um fluxo contínuo de informações. Esta rede de comunicação pode ser

diferente de um nível para o outro. Algumas dessas redes incluem RS485, CAN, DeviceNet, Foundation Field bus, Profibus, etc...

A partir da hierarquia acima, podemos concluir que existe um fluxo contínuo de informações de alto nível para baixo nível e vice-versa. Se assumirmos esta forma gráfica, é como uma pirâmide em que à medida que subimos, as informações vão se agregando e, à medida que descemos, obtemos informações detalhadas sobre o processo (IBRAM, 2016).

2.2. TIPOS DE SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

2.2.1. Automação fixa ou rígida

Este tipo de automação é empregado para realizar operações fixas e repetitivas a fim de atingir altas taxas de produção. Ele usa um propósito especial ou equipamento dedicado para automatizar as operações de montagem ou processamento de sequência fixa. Uma vez empregado, é relativamente difícil mudar ou variar o *design* do produto. Portanto, é inflexível em oferecer variedade de produtos, mas aumenta a eficiência com maior taxa de produção e reduz o custo unitário. Alguns desses sistemas automatizados são processos destilados, oficinas de pintura e transportadores.

2.2.2. Automação programável

Nessa automação, uma classe específica de alterações de produto e também operações de montagem ou processamento podem ser alteradas com a modificação do programa de controle no equipamento automatizado. Essa automação é mais adequada para o processo de produção em lote onde o volume do produto é médio a alto. Mas, nisso, é difícil mudar e reconfigurar o sistema para um novo produto ou sequência de operações. Portanto, um novo produto ou reconfiguração da sequência de operações requer uma configuração longa. Exemplos deste sistema de automação são máquinas controladas numericamente, fábricas de papel, laminadores de aço, robôs industriais, etc.

2.2.3. Automação flexível ou suave

Este sistema de automação fornece o equipamento de controle automático que oferece uma grande flexibilidade para fazer alterações no *design* do produto. Essas mudanças podem ser realizadas rapidamente através dos comandos dados na forma de códigos pelos operadores humanos. Essa automação permite que os fabricantes produzam vários produtos com gamas diferentes como um processo de combinação combinado, em vez de separado. Alguns dos exemplos desse sistema de automação são veículos guiados automaticamente, automóveis e máquinas CNC multifuncionais (NETO, et al, 2018).

3. INDÚSTRIA DA MINERAÇÃO NO MUNDO

O minério de ferro, matéria-prima essencial para a fabricação do aço, é encontrado na natureza em rochas misturadas a outros elementos. Por meio de diversos processos industriais de ponta, o minério é beneficiado para comercialização nas siderúrgicas. O minério de ferro produzido no Brasil pode ser encontrado na construção de casas, na fabricação de automóveis e na produção de eletrodomésticos.

Os cinco principais países produtores de minério de ferro do mundo, Austrália, Brasil, Índia, China e Rússia, foram juntos responsáveis pela produção de mais de 80% do minério de ferro global em 2019. A produção global de minério de ferro saltou para 2,85 bilhões de toneladas em 2019, mas o crescimento deve desacelerar para cerca de 3,1 bilhões de toneladas até 2028 - sinalizando uma queda do crescimento de 2,9% alcançado em 2009-2018, para 0,5% na década seguinte (ALVES, 2019).

As maiores reservas mundiais de minério de ferro bruto são encontradas na Austrália, que responde por mais de 29% do total global. A China liderou a lista de importadores de minério de ferro em 2019, com o Japão em um distante segundo lugar, seguido pela Coreia do Sul, Alemanha e Holanda, de acordo com pesquisa da empresa de dados Statista (ALVES, 2019).

3.1. AUSTRÁLIA: 930 MILHÕES DE TONELADAS

A Austrália lidera a lista dos maiores produtores mundiais de minério de ferro, com uma produção de minério de ferro utilizável de 930 milhões de toneladas, dos quais o teor de ferro foi estimado em 580 milhões de toneladas, de acordo com dados do US Geological Survey 2019. Esta produção é um salto considerável em relação às 900 milhões de toneladas geradas em 2018, impulsionadas pelas gigantes da mineração de ferro Rio Tinto (atualmente a maior produtora de minério de ferro do mundo) e BHP Group, que são mais ativos na região de Pilbara, no oeste da Austrália.

A Rio Tinto é uma empresa líder global de mineração e metais com foco na descoberta, mineração e processamento de recursos minerais da Terra a fim de maximizar o valor para seus acionistas.

A Rio Tinto emprega mais de 66.000 pessoas em mais de 40 países em seis continentes, com uma presença marcante na Austrália e na América do Norte. A empresa também detém negócios significativos na Ásia, Europa, África e América do Sul, mas com sede no Reino Unido, o Grupo é composto pela Rio Tinto *Public Limited Companies* - uma empresa listada na Bolsa de Valores de Londres e Nova York, e pela Rio Tinto Limited - que está listada na Australian Securities Exchange. Esta presença global, e a expertise da Rio Tinto em tecnologia e marketing, a empresa se orgulha de ser capaz de fornecer o produto certo, com a qualidade certa, no momento certo (ALMEIDA, 2019).

Os negócios internacionais do Grupo incluem minas a céu aberto e subterrâneas, usinas, refinarias, fundições e usinas de energia - incluindo um portfólio significativo de energia hidrelétrica - bem como uma série de instalações de pesquisa e serviços. Seus principais produtos são alumínio, cobre, diamantes, ouro, minerais industriais (boratos, dióxido de titânio e sal), minério de ferro, carvão térmico e metalúrgico e urânio.

Figura 1: Rio Tinto.



Fonte: (ALVES, 2019).

A empresa está comprometida com a produção de metais e minerais que são transformados em produtos finais que contribuem para padrões de vida mais elevados e desenvolvimento econômico. Seus funcionários estão presentes em todos os pontos do ciclo de desenvolvimento, desde o minério de ferro que constrói a infraestrutura fundamental das cidades mundiais, até o cobre e boratos nos smartphones que nos mantêm conectados.

Mais de 90% das reservas de minério de ferro estão localizadas na Austrália Ocidental, com a província de Hamersley considerada a maior. Em 2019, a Austrália registrou 48 bilhões de toneladas métricas de minério de ferro bruto, das quais 23 bilhões de toneladas métricas continham ferro.

3.2. BRASIL: 480 MILHÕES DE TONELADAS

Um distante segundo lugar para a Austrália nesta lista dos principais países produtores de minério de ferro, o Brasil, produziu 460 milhões de toneladas de material utilizável em 2018, com um teor de ferro estimado de 250 milhões de toneladas. O Brasil melhorou isso em 2019, ao gerar 480 milhões de toneladas de minério de ferro (teor de ferro estimado em 260 milhões de toneladas).

O S11D combina produtividade, respeito às pessoas, tecnologia e inteligência ambiental para formar a maior infraestrutura de mineração da história da Vale. Além de criar um diferencial competitivo para a indústria brasileira de minério, o complexo apresenta soluções inovadoras e sustentáveis com uso de menos diesel, processamento com umidade natural e sem barragem de rejeito. Os investimentos da Vale em inovação e expertise empresarial proporcionam operações mais eficientes e redução do impacto ambiental.

Com sede no Brasil, a Vale é a segunda maior produtora de minério de ferro do mundo (perdendo o primeiro lugar para a Rio Tinto em 2019). Acredita-se que as minas da empresa em Carajás tenham o maior conteúdo de minério de ferro do planeta (67%). Como resultado da pandemia Covid-19, a Vale estima que as perdas potenciais de produção cheguem a 15 milhões de toneladas em 2020 (ALVES, 2019).

O S11D usa tecnologia de drones de última geração para realizar levantamentos aéreos da mina, planta e pilhas de minério em geral. Essas imagens apoiam o planejamento de mina de curto prazo, adicionando segurança, agilidade e precisão às atividades de levantamento.

Figura 2: Vale.



Fonte: (ALVES, 2019).

O complexo foi nomeado após a localização do site. Refere-se ao bloco D da concha S11, que fica na serra Sul da região do grande Carajás. A mina de Carajás, em operação desde 1985, está localizada mais ao norte, em Parauapebas, município vizinho a Canaã. Para fins geológicos, S11D é apenas um bloco da casca que foi dividido em quatro partes: A, B, C e D. O potencial mineral da casca S11 é de 10 bilhões de toneladas métricas de minério de ferro, enquanto os blocos C e D são reservas detêm 4,24 bilhões de toneladas métricas de minério de ferro.

No lugar dos 100 caminhões fora de estrada que seriam necessários para a atividade, uma estrutura composta por escavadeiras e trituradoras móveis extrai o minério de ferro e alimenta 30 km de correias transportadoras interligadas, que transportam o produto até a usina de beneficiamento. Além de reduzir a quantidade de resíduos, como pneus, filtros e lubrificantes, esse novo sistema consome 70% menos combustível.

O sistema reduziu o consumo de água em 93%, o que corresponde ao abastecimento de água para uma cidade com 400 mil habitantes. A tecnologia

também gerou economia de energia. Outra vantagem é que elimina a necessidade de barragens de rejeitos. A fração ultrafina do minério de ferro de alto teor que iria parar na barragem não será descartada, mas sim incorporada de volta à produção. Espera-se que 300 milhões de toneladas métricas retornem à mina ao longo de sua vida útil de 30 anos.

Alguns dos mais recentes mecanismos de automação e controle adotados no SD11 incluem uma gestão mais eficiente dos recursos energéticos e dispositivos inteligentes que ajustam a oferta de matéria-prima a cada demanda. A rede de automação controla todas as variáveis envolvidas, desligando equipamentos ociosos e pontos de consumo de energia em caso de baixa demanda / cargas. Os operadores responsáveis pelo carregamento dos vagões com minério de ferro estão recebendo treinamento com o auxílio de um simulador, instalado no Centro de Treinamento S11D, mostrando a importância da automação nessas aplicações, sendo uma ferramenta crítica para o processo de treinamento.

3.3. CHINA: 350 MILHÕES DE TONELADAS

Embora seja apenas o terceiro maior em termos de produção mundial de minério de ferro, a China é o consumidor mais faminto do mundo. Em 2018, sua produção de minério de ferro foi de 335 milhões de toneladas, que teve um aumento modesto para cerca de 350 milhões de toneladas. A maior parte do minério de ferro da China é usada internamente e geralmente é de teor muito baixo, visto que a China importa mais de 70% do minério transoceânico global - especialmente da Austrália Ocidental, que é o maior fornecedor mundial (ALMEIDA, 2019).

Figura 3: Anshan.



Fonte: (ALVES, 2019).

O grupo chinês Anshan Iron & Steel juntou os seus ativos de minério de ferro na China e no exterior em uma única empresa disse na segunda-feira o website China Metallurgical News (CsteelNews). O novo grupo de mineração tem capacidade para processar 120 milhões de toneladas de minério por ano, o que o torna a primeira mineradora chinesa com capacidade superior a 100 milhões de toneladas.

As empresas chinesas se apressaram em propor a compra de participações em empresas de mineração existentes e iniciantes, buscando matérias-primas para alimentar sua economia em crescimento. A chinesa Hunan Valin Iron and Steel foi recentemente autorizada a comprar até 17,55 por cento da Fortescue Metals Group FMG.AX , que também extrai minério no extremo oeste do sertão e o governo deve decidir sobre uma proposta de investimento de US \$ 19,5 bilhões da Chinalco no Rio Tinto RIO.AX RIO.L até meados de junho.

Os acionistas da Gindalbie em fevereiro apoiaram uma colocação de ações na Anshan para financiar o desenvolvimento da mina de minério de ferro Karara, que levaria a participação da Anshan para 36,28 por cento, ante 12,6 por cento agora. A

atividade econômica da China em 2020 parece estar em alta, apesar do caos criado pela pandemia do coronavírus - que se acredita ter se originado no país - sugerindo uma demanda saudável por minério de ferro importado (ALMEIDA, 2019).

3.4. ÍNDIA: 210 MILHÕES DE TONELADAS

A Índia em quarto lugar testemunhou um aumento um tanto insignificante em sua produção de minério de ferro utilizável, semelhante ao experimentado pela China.

Sua produção em 2018 aumentou de 205 milhões de toneladas para cerca de 210 milhões de toneladas em 2019, de acordo com o US Geological Survey. O teor de ferro em sua produção de 2019 foi de 130 milhões de toneladas; 4 milhões de toneladas a mais que no ano anterior.

Como a maior mineradora de minério de ferro da Índia, a NMDC – *National Mineral Development Corporation* é uma das principais partes interessadas na cadeia de valor da mina para o metal, e a empresa foi afetada pelas condições econômicas desfavoráveis que refletiram no desempenho do ano fiscal. O volume de negócios da empresa para o ano em análise diminuiu 3,74% ano a ano, ficando em Rs.11.699 crores contra Rs.12.153 crores no financeiro anterior.

As margens também foram impactadas. O lucro antes de impostos (PBT) de operações contínuas foi de Rs.6,123 crores em comparação com Rs. 7.199 crores no ano financeiro anterior de 2018-2019 - uma diminuição de 14,95%. O lucro após impostos foi de Rs.3,610 crores em comparação com Rs.4,642 crores no ano financeiro anterior de 2018-19 - uma diminuição de 22,23% (ALMEIDA, 2019).

Figura 4: NMDC.



Fonte: (ALVES, 2019).

Contra o cenário de aumento da demanda, a NMDC foi capaz de capitalizar sobre o aumento nos preços domésticos do minério de ferro, que subiu para uma alta de 22 meses, já que a remoção das restrições de bloqueio da Covid-19 impulsionou a demanda. Desde julho de 2020, NMDC registrou um aumento na produção geral e vendas em comparação com o período correspondente em julho de 2019, apesar da atual situação incerta devido ao COVID-19. A NMDC conseguiu atingir um excelente desempenho físico por meio de seu impulso contínuo para maiores volumes neste ano fiscal até agosto de 2020, que viu uma produção de 10,41 MT e vendas de 10,85 MT apesar da situação de pandemia de COVID-19.

Por último, o NMDC CMD compartilhou os detalhes de como a atualização tecnológica é o principal capacitador para tornar as operações de mineração economicamente competitivas e como o desenvolvimento de recursos humanos tem sido um ativo chave da empresa. Ele também mencionou especificamente sobre as iniciativas de RSC da NMDC que visam melhorar a qualidade do ambiente geral e socioeconômico das pessoas que vivem dentro e ao redor das instalações de

mineração da NMDC. Ele também mencionou que a sustentabilidade ambiental sempre foi uma prioridade e permanecerá igual no futuro (ALMEIDA, 2019).

A maior empresa de mineração de minério de ferro da Índia, NMDC, foi fortemente afetada pela crise baseada no coronavírus, e a produção de 2020 deve cair para cerca de 205 milhões de toneladas. No entanto, a produção deve se recuperar para 270Mt até 2024.

3.5. RÚSSIA: 99 MILHÕES DE TONELADAS

Em quinto lugar em nossa lista de países produtores de minério de ferro está a Rússia. O maior país da Europa produziu mais de 96 milhões de toneladas de minério de ferro utilizável em 2018, dos quais o teor de ferro foi estimado em 56,7 milhões de toneladas. A produção aumentou no ano seguinte para 99 milhões de toneladas, com o teor de ferro correspondente chegando a 59 milhões de toneladas.

A produção de minério de ferro russo começou no século 18. As primeiras fábricas surgiram em Tula (1712) e nos Urais (a fábrica Demidov em Nizhniy Tagil, 1721), durante a época de Pedro, o Grande. O processo de fundição do minério de ferro requer muita energia, e o carvão é o principal deles, desde o início, nos Urais. Quando o carvão antracito se tornou disponível na bacia do Donbass na segunda metade do século 19, o centro da indústria do ferro mudou para o sul. Na década de 1970, a União Soviética era o principal produtor mundial de minério de ferro, aço e ferro-gusa, cromita e minérios de manganês. Ironicamente, esta foi a época em que as outras economias mundiais líderes estavam mudando do ferro para o titânio, plásticos e materiais compostos.

A produção de aço e ferro requer grandes quantidades de energia e é muito poluente. Por exemplo, para produzir 1 tonelada de ferro-gusa, uma planta média requer 1,2-1,5 toneladas de carvão, 1,5 toneladas de minério de ferro, 0,5 tonelada de calcário e cerca de 30 toneladas de água. As empresas privadas estão bem cientes disso e estão tentando melhorar a eficiência e atender aos padrões ambientais instalando fornos mais eficientes, adicionando filtros e depuradores melhores e mudando para novas fontes de energia. Por exemplo, Severstal recebeu a certificação ISO 14001 em 2001 (este é o principal padrão internacional de qualidade ambiental). A empresa afirma que suas emissões de poluentes atmosféricos diminuíram 70% em 10 anos (ALVES, 2019).

Hoje, a indústria siderúrgica da Rússia é moderna e poderosa e atrai investimentos em todo o mundo. As colheitadeiras Novolipetsk, Severstal e Magnitogorsk estavam entre as 20 maiores empresas russas por capitalização de mercado em 2007, e seus principais proprietários são bilionários. A Severstal comprou recentemente a Rouge Steel em Dearborn, Michigan - a primeira aquisição por uma empresa siderúrgica russa nos Estados Unidos. Ao mesmo tempo, a ArcelorMittal, a maior produtora de aço do mundo, fez algumas incursões na Rússia (comprando minas de carvão) e especialmente na Ucrânia (onde comprou a Krivorozhstal, a maior siderúrgica nacional) (ALMEIDA, 2019).

Figura 5: Polyus.



Fonte: (ALVES, 2019).

Usando números de produção e comércio para 1990 e 1995 e dados específicos da mina sobre capacidade, produção, produtos, posição geográfica e comércio exterior para cada mina na Rússia, é geralmente concluído que, embora alguns fatos favoreçam a Rússia, outros não. As longas distâncias entre as minas e os clientes estrangeiros, com os custos de frete que os acompanham, certamente não favorecem a Rússia. Entre eles, está o fato de que o minério das sete minas

exportadoras é de magnetita de alta qualidade com um teor de ferro geralmente bem acima de 60%.

A Rússia, no entanto, parece estar tirando proveito dos problemas causados pela pandemia de Covid-19 - como a redução da produção de minério de ferro em outros países - aumentando suas próprias exportações de minério de ferro para cortejar o mercado mundial de aço. Em 2020, sua produção de minério de ferro é estimada em 115 milhões de toneladas por ano (ALVES, 2019).

4. ESTUDO DE CASO

Na indústria da mineração, a etapa de moagem é considerada uma das etapas de maior importância para concentração de minerais com grau de liberação elevado. Essa etapa certificará que os grãos dos minerais estarão livres, para que o processo seguinte de concentração e separação sejam eficientes. Diversos tipos de moinhos são utilizados para diferentes minerais, sendo os moinhos de bolas e barras horizontais os mais comuns.

Com a redução da qualidade das jazidas minerais, a cada ano que passa a moagem precisa ser mais eficiente, gerando um produto em sua descarga mais fino com o menor consumo energético possível. Com o objetivo de adequar a nova demanda do mercado, a utilização dos moinhos verticais vem tomando força e sendo implementados na indústria de mineração, principalmente para metais base. Com a evolução tecnológica da máquina fez-se necessário a utilização de um controle maior das condições operacionais do sistema, no passado, os moinhos horizontais operavam com valores fixo, sem ajustes em tempo real causando uma grande oscilação na operação e estabilidade da planta. Com o novo sistema de controle, foi possível ajustar as condições da moagem em tempo real, em função das características da alimentação e demanda da planta, aumentando a eficiência do processo, reduzindo significativamente o consumo energético.

Há diversas maneiras de fazer a concentração de uma partícula, seja ela por processos físicos ou químicos. Para cada um desses processos, o controle da moagem é fundamental para o sucesso da operação.

Uma moagem operando fora do seu regime adequado, pode causar um consumo desnecessário de energia, maior geração de resíduos e conseqüentemente menor eficiência do processo de concentração.

Os equipamentos foco do estudo de caso em questão, é o moinho vertical seguido do processo de concentração por flotação.

4.1. GRAU DE LIBERAÇÃO DAS PARTICULAS

A rocha é um agregado de um ou mais minerais e/ou restos orgânicos, consolidado ou não, que forma a parte essencial da crosta terrestre. O mineral é um corpo natural sólido e cristalino formado em resultado da interação de processos físico-químicos em ambientes geológicos. Cada mineral é classificado e denominado não apenas com base na sua composição química, mas também na estrutura cristalina dos materiais que o compõem.

Uma característica importante no tratamento de qualquer mineral é o seu grau de liberação. O grau de liberação, ou espectro de liberação, nada mais é do que a distribuição de composições de partículas em uma população. Na maioria dos minérios várias fases estarão presentes, e pelo menos, uma fase terá valor econômico e uma outra fase constituirá ganga. Partículas que contém apenas uma fase são chamadas partículas liberadas. Todas as outras partículas que contém mais do que uma fase, são chamadas partículas compostas ou não liberadas. A eficiência da recuperação do mineral de interesse na usina depende do seu grau de liberação.

Tenacidade: A tenacidade mede a resistência de um mineral a ser quebrado, dobrado ou esmagado. Ela não está diretamente ligada à dureza, são independentes, como por exemplo, o diamante que possui dureza muito elevada e sua tenacidade é relativamente baixa, sendo submetido a um impacto, o mesmo se quebra facilmente (KLEIN, 1999).

Um das formas mais eficientes de se conseguir a liberação das partículas e, conseqüentemente uma concentração mais eficiente, é através do processo de moagem vertical ou horizontal, ou seja, fazer a redução das partículas a índices de tamanho que possibilita a sua separação por completo de outros minerais.

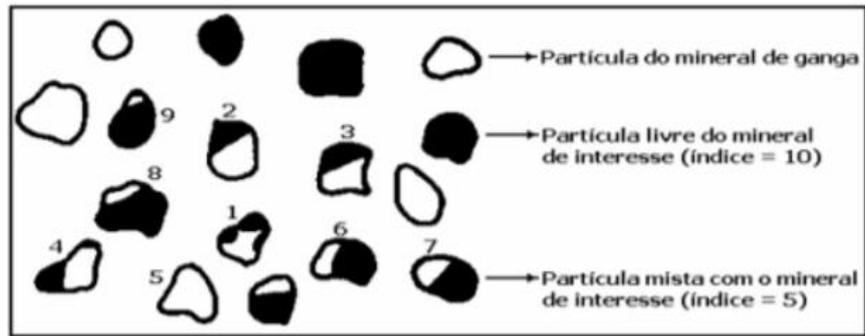


Figura 6: Rocha agregado de minerais.



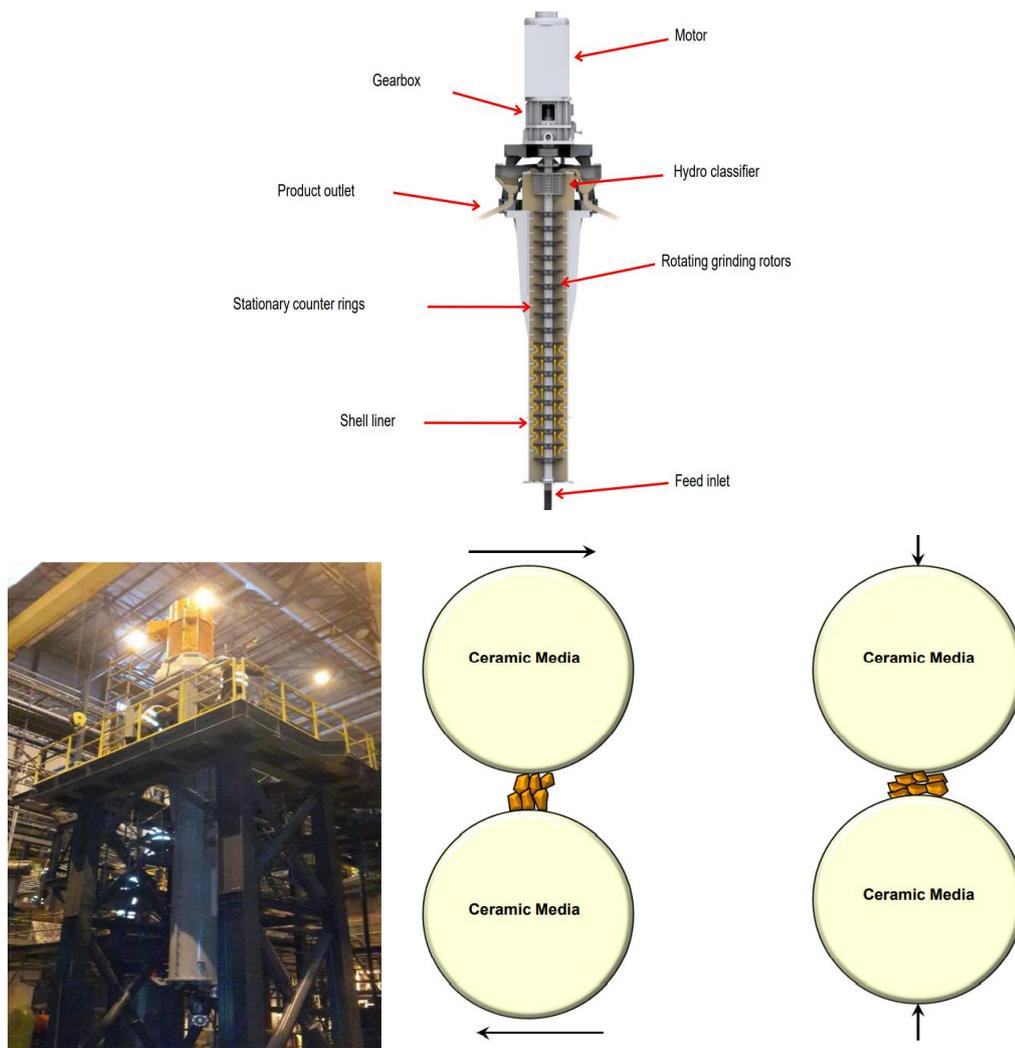
Fonte: (ALVES, 2019).

4.2. MOINHO VERTICAL

Os moinhos verticais são largamente aplicados na indústria da mineração, seu princípio de funcionamento para redução/quebra das partículas é através da atrição de corpos moedores de cerâmica ou metal com as rochas minerais.

A atrição é provocada por um eixo excêntrico comandado por um motor elétrico. Quanto maior a velocidade do motor, maior intensidade de atrito e maior quebra do material.

Figura 7: Moinho vertical.



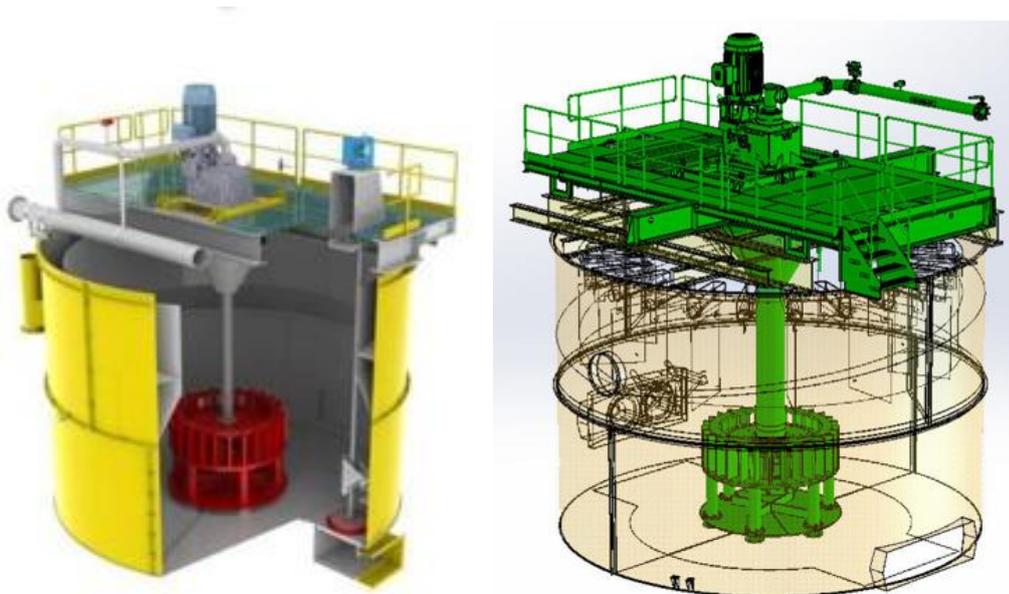
4.3. CELULAS DE FLOTAÇÃO

As células de flotação, são muito utilizados no processo de concentração de materiais finos. Geralmente quando o grau de liberação da partícula necessita uma moagem fina, as células de flotação são as máquinas que apresentam uma maior eficiência e confiabilidade.

Seu princípio de funcionamento é a combinação da adição de soluções químicas que controlam a hidrofobia e/ou hidrofília das partículas e aeração.

A separação mineral acontece em uma lama mineral de água agitada e/ou aerada, onde a superfície de minerais selecionados se torna hidrofóbicas (repelindo a água) através do condicionamento com reagentes de flotação selecionados. Uma vez com a partícula ativada pela hidrofobia, faz-se a injeção de ar dentro das células, essas partículas hidrofóbicas aderem as bolhas de ar, sendo arrastadas para fora das células.

Figura 8: Células de flotação



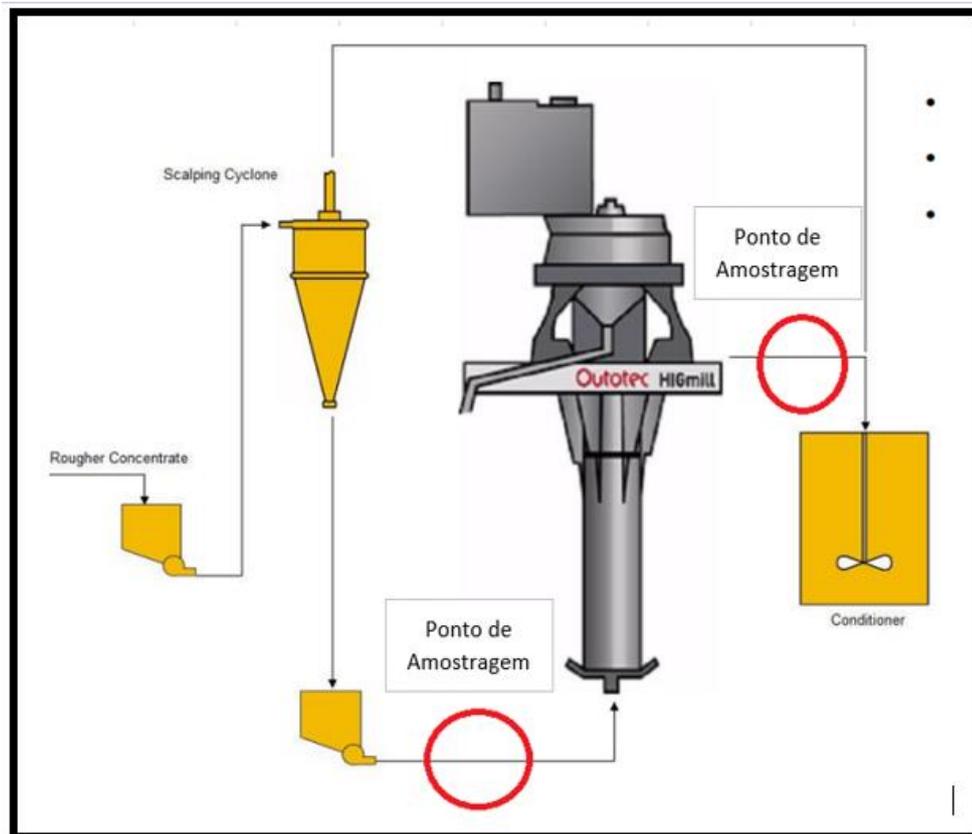
4.4. CENÁRIO OPERACIONAL SEM CONTROLE DE PROCESSO

A planta em estudo, faz o processamento e concentração do minério de cobre com intuito de fornecer concentrado de cobre no mercado nacional e internacional. A base de equipamentos instalados nesta planta é composta por britadores, peneiramento, moagem de bolas, ciclonagem, moagem vertical e flotação. Os desafios operacionais da planta estão concentrados nas etapas de moagem vertical e flotação.

Inicialmente, o controle do moinho vertical era realizado manualmente seguindo análises laboratoriais de amostragem realizadas periodicamente por operadores na planta. basicamente era amostrado um fluxo que alimentava o moinho vertical e um outro fluxo que saía da descarga da máquina. Essas amostras de fluxos eram analisadas no laboratório da empresa, onde o valor principal medido era o tamanho médio das partículas de entrada e saída. O tamanho médio das partículas é o principal indicador para boa performance da flotação, caso as partículas estivessem fora da especificação, ou seja, mais grosseira ou mais fina, você causa um distúrbio na recuperação em massa e metálica da partícula de interesse.

Eram realizadas duas amostragens ao longo do dia, uma no início do turno das 8:00 horas da manhã e outra no início do turno das 16:00 horas. Considerando o tempo demandado do laboratório para realização das análises, era crucial que essas amostragens fossem realizadas antes de cada turno, pois, no turno seguinte teria informação de como estava a eficiência da moagem e poderiam atuar alterando as condições de trabalho no moinho, diminuindo ou aumentando a velocidade do motor. Caso a descarga da moagem apresentasse um particulado mais grosseiro, o turno seguinte trabalhava com uma corrente maior no motor, aumentando sua velocidade para regularização da granulometria, caso a granulometria estivesse fina a corrente era reduzida.

Figura 9: Circuito de amostragem manual

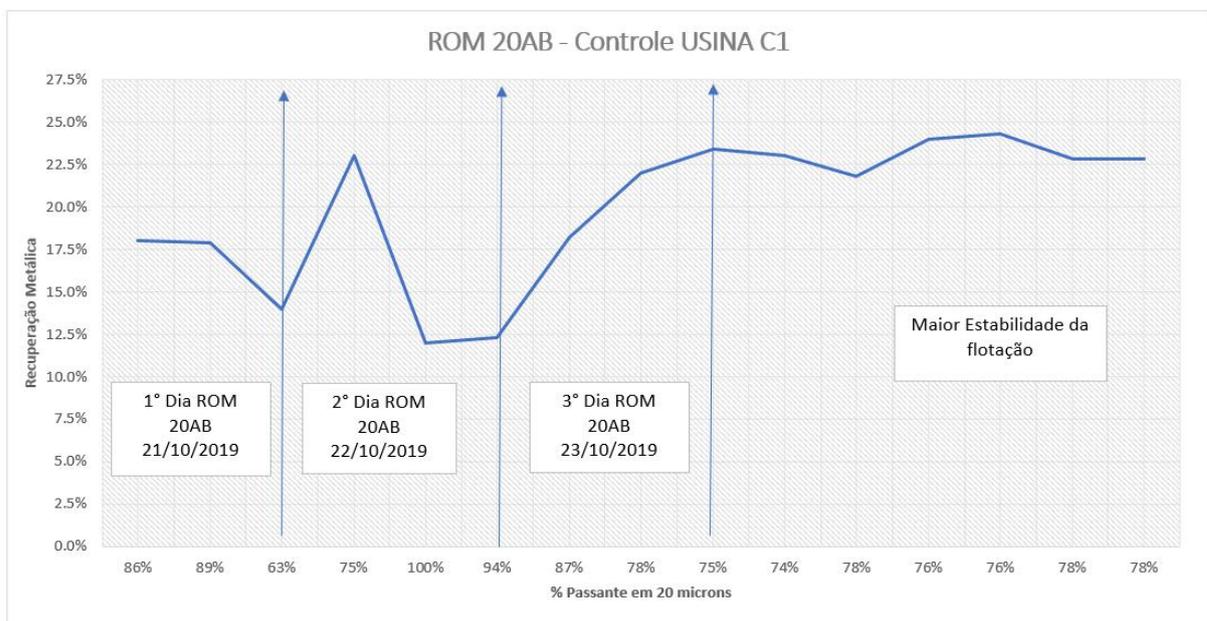


4.5. PROBLEMAS OPERACIONAIS

Obviamente que ao longo da operação da usina, criou-se uma parametrização baseando em características do material de alimentação da planta, range operacional da máquina, análises visuais e consumos de reagentes que possibilitaram os operadores a ter uma “estabilidade” e conseguir trabalhar na maior parte dentro dos limites aceitáveis de variabilidade. Porém, ao decorrer da vida útil da mina o material passou a ser muito heterogêneo e contaminado, em alguns casos, essa variação era observada de hora em hora. Com essa grande variação, onde o tempo de resposta do circuito da moagem passou ser novamente algo crucial para uma boa operação e estabilidade da planta.

Devido as alterações no material alimentado, observou uma perda de aproximadamente 3.5% em recuperação em massa e um aumento na geração de rejeitos. Ou seja, a massa que não era recuperada na etapa de flotação, era enviada diretamente para barragem de rejeitos. Há dois problemas relacionados, além de gerar um volume maior de rejeito, causando uma maior necessidade de area de disposição também, perdia material nobre reduzindo a eficiência da usina.

Figura 10: gráfico produção usina I



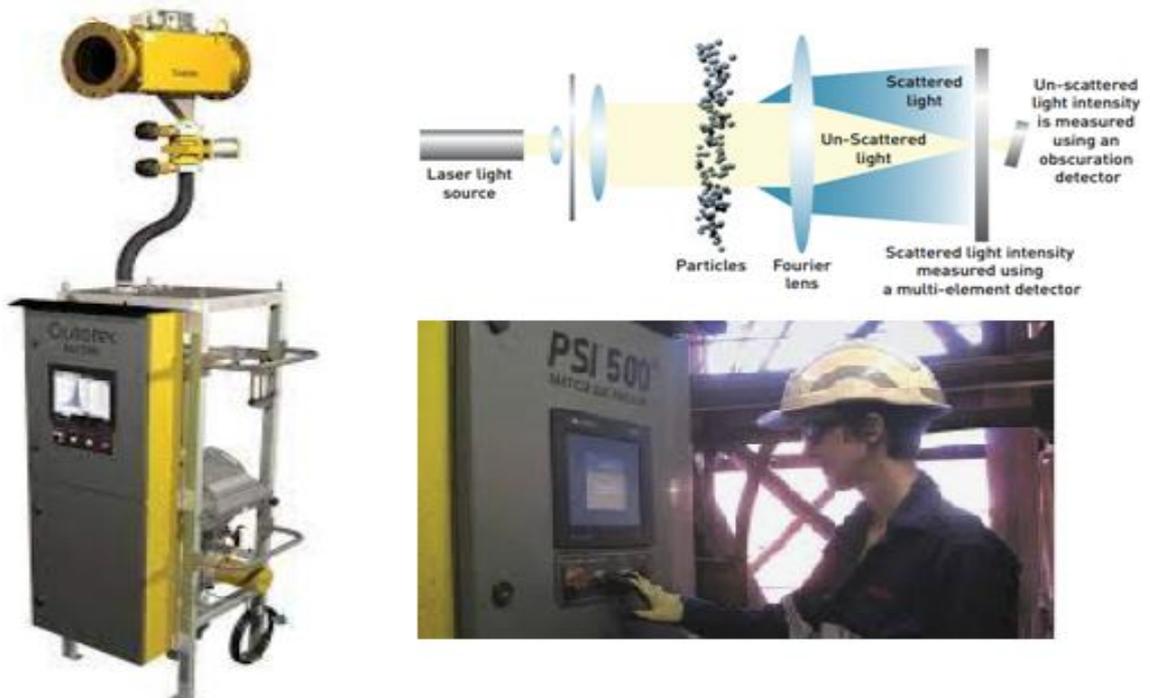
O gráfico acima, mostra a variação do operacional da usina em função da alimentação de um novo material. Observamos que a “estabilidade” do sistema acontece após o terceiro dia de operação, havendo uma variação significativa na recuperação instantânea da planta, impactando diretamente no resultado global mensal e anual. Apesar de se obter uma estabilização no terceiro dia, o tempo de duração de uma pilha nova homogênea alimentando a usina são de aproximadamente 8 dias, ou seja, no 9º dia um novo material alimentará a planta e todo o processo de estabilidade deverá acontecer novamente.

4.6. SOLUÇÃO ADOTADA

Com o avanço do controle e automação, novas tecnologias foram implantadas na mineração ajudando a manter o controle, segurança e estabilidade do processo. Na usina em estudo, a solução foi implantar um medidor de granulometria comercialmente chamado de PSI 500 (Particle size Instrument).

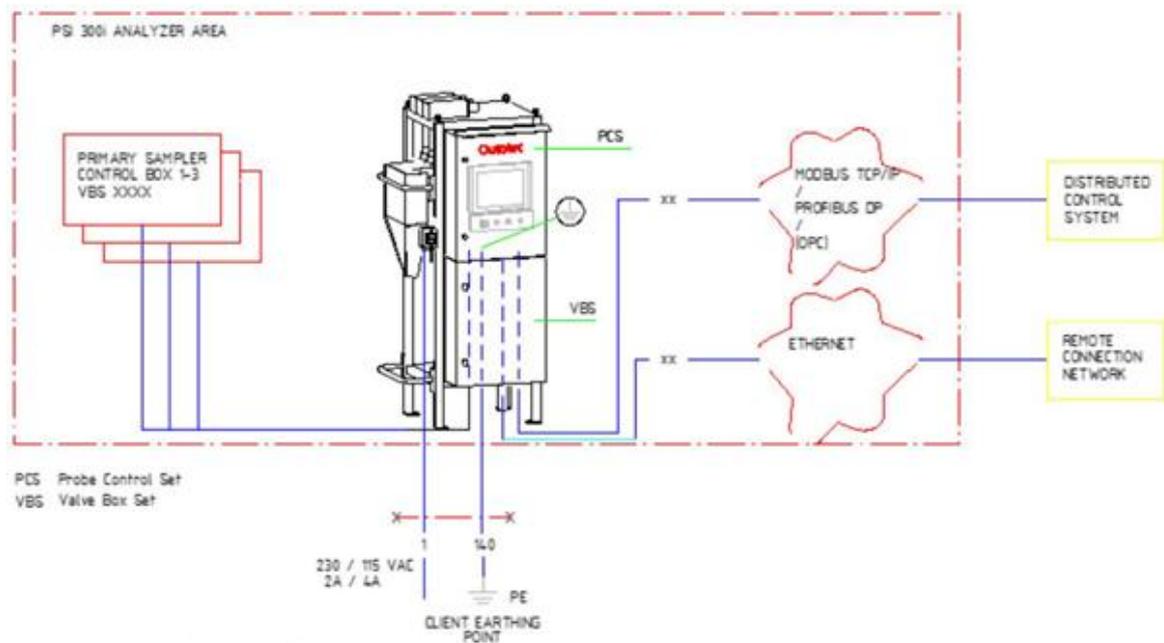
O PSI 500 fornece informações de tamanho de partícula em tempo real monitorando o volume da partícula através da difração a laser. A difração de laser fornece o resultado mais consistente quando comparado a outras metodologias, por exemplo peneiramento. Pelo fato do tamanho da partícula está relacionada ao seu volume, esse método independe de calibrações externas a máquina, isso mantém altos índices de reprodutibilidade e acurácia.

Figura 11: PSI 500



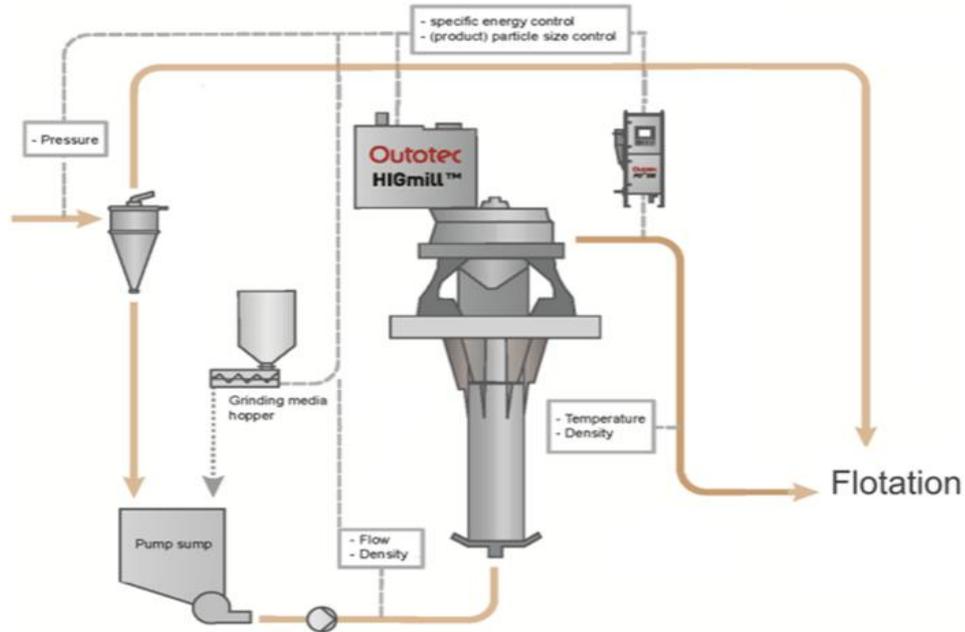
O PSI 500 utiliza um painel IHM local com painel de controle integrado, porém, todas informações são enviadas para sala de controle através de uma conexão ethernet facilitando o acompanhamento e atuação imediata no controle da planta.

Figura 12: circuito PSI 500



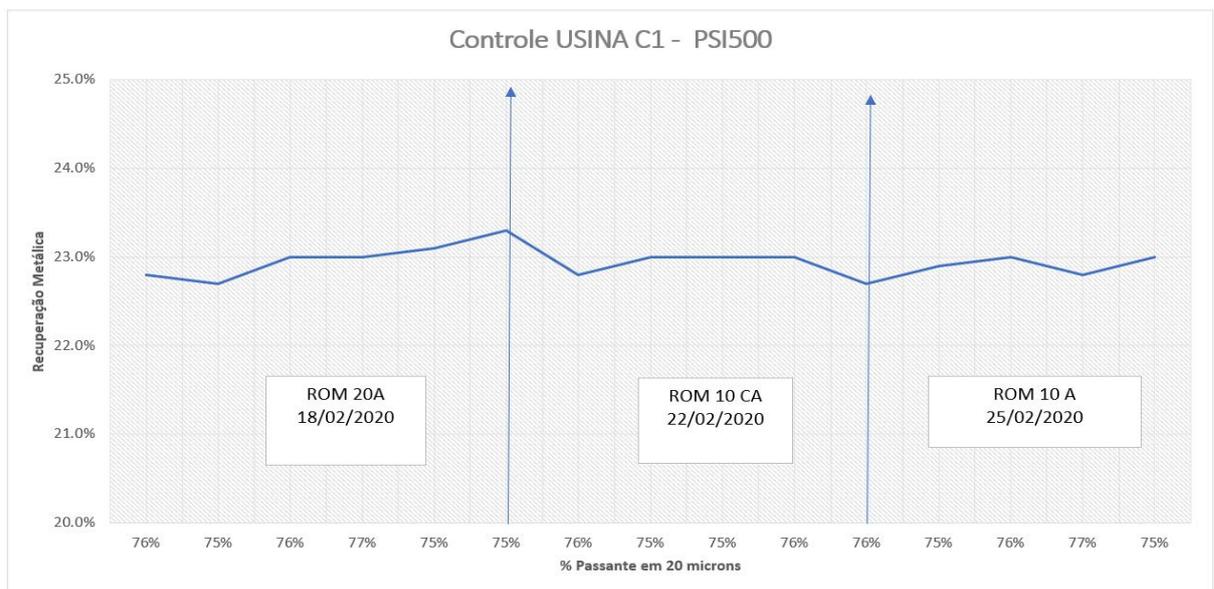
O Analisador *on-line* foi instalado no fluxo de saída do moinho vertical que, na sequência segue para etapa de flotação. Foi feita a derivação do fluxo onde uma parcela representativa (alíquota) é enviada para o analisador PSi500. O Analisador, faz a leitura do tamanho das partículas e através do seu algoritmo faz um comparativo com o valor de referência inserido pela equipe de operação. Caso o valor amostrado seja diferente do valor de referência, o analisador envia um sinal para sala de controle e a sala de controle atua aumentando ou diminuindo a velocidade do motor. Em alguns casos, o próprio analisador faz o controle total da planta, enviando o sinal diretamente para o controle do motor, conforme mostrado abaixo.

Figura 13: Circuito usina moagem vertical



Com a instalação do PSI500, a resposta do sistema reduziu consideravelmente, o range de variação no tamanho médio da partícula reduziu e a recuperação metálica manteve sempre acima dos padrões mínimos aceitáveis que é de 19.5%, conforme gráfico abaixo.

Figura 14: gráfico produção usina II



4.7. DADOS COMPARATIVOS DOS BENEFÍCIOS DA ADIÇÃO DO CONTROLE DE PROCESSOS

Figura 15: Fluxograma da planta sem controle

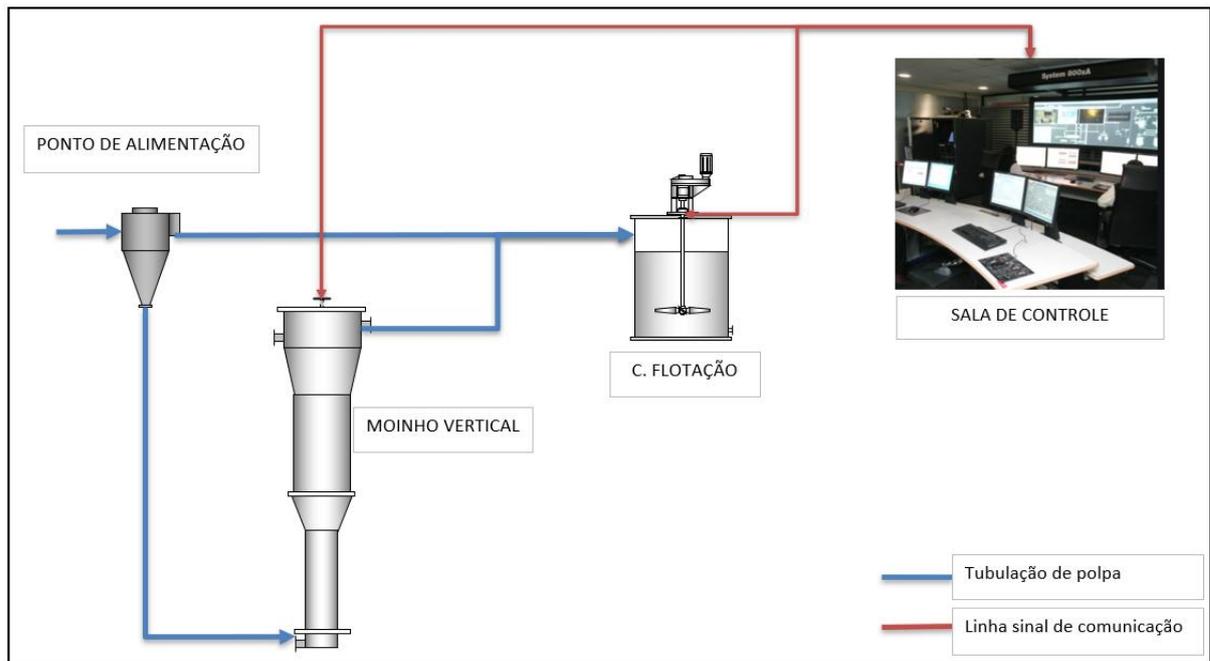
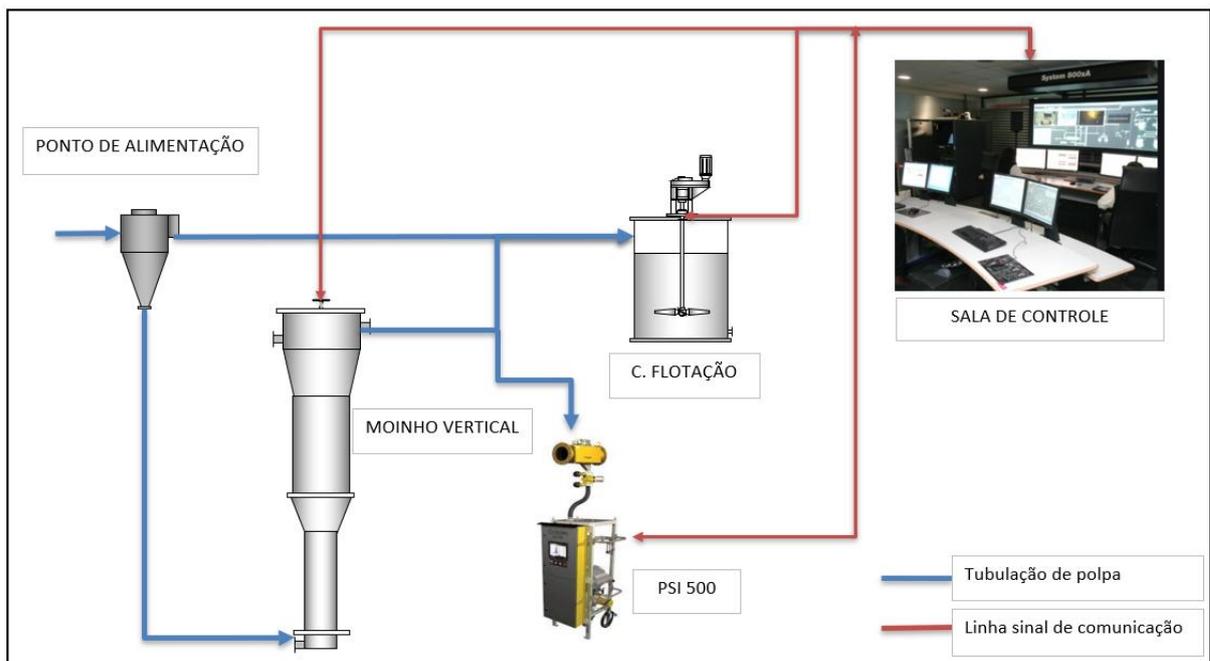


Figura 16: Fluxograma da planta com controle



Devido à adição de controle e automação, através do analisador online no circuito de moagem e flotação, vários benefícios diretos e indiretos foram observados na planta de concentração, sendo os principais:

- Maior produtividade: a recuperação metálica mantém altos níveis, sempre operando acima do limite aceitável;
- Menor geração de resíduo/rejeito: Com maior recuperação significa que mais material é concentrado, reduzindo o volume de rejeito a ser enviado para barragem;
- Menor dependência das pilhas de homogeneização: havia uma dependência enorme das pilhas que alimentavam a planta, estava pensado em aumentar o pátio de homogeneização para garantir maior tempo de material homogeneizado. Investimento altíssimo que foi poupado;
- Menor consumo de reagentes de flotação: Não há mais perdas excessivas de reagentes que eram gastas no intuito de adequar as variações da planta;
- Menor consumo energético: O moinho sempre opera dentro do padrão para atender a especificação granulométrica. Antes da instalação do PSI, quando havia um descontrole, a preferência era trabalhar com o material mais moído, pois, havia a perda na recuperação, mas bem menor quando comparado ao material mais grosseiro. Conseqüentemente, maior rotação no motor e maior consumo energético;
- Maior segurança na rotina da operação: Não se faz mais necessário a amostragem manual, evitando contato direto com fluxos pressurizados. A rotina de amostragem da planta foi alterada para uma amostragem manual por mês, apenas para certificação dos resultados obtidos no PSI com análises laboratoriais;
- Menor dependência do laboratório: Há apenas um laboratório para atender toda demanda da planta, com isso, sempre ele ficava sobrecarregado com as amostragens da planta de concentração, hoje o laboratório está focando em outras atividades.

5. CONCLUSÃO

A necessidade de otimização dos custos de produção, a necessidade de reduzir a intervenção humana em pontos específicos das operações e a mudança do cenário de mineração continuarão sendo os principais fatores de crescimento do mercado. A mineração é uma indústria composta. Extrair da crosta terrestre matéria-prima de diferentes formas, tamanhos e composições químicas e transformá-la em um produto final padronizado e de alta qualidade é um processo desafiador e tem levado a indústria a optar por soluções que melhorem sua eficiência e produtividade. Na indústria de mineração, o processo de automação ainda não atinge níveis de excelência como a indústria alimentícia, mas estamos avançando a cada dia.

A maioria das operações de mineração usa métodos convencionais e mecanizados de mineração, e o processo de automação só agora está entrando na fase de gerenciamento remoto, com empreendimento ocasionais em máquinas semiautomatizadas e automatizadas.

A qualidade alcançada pela automatização de tarefas repetitivas vai além da produtividade, para o operador - ela melhora a qualidade do trabalho e a satisfação, porque os operadores ficam livres para realizar mais e variadas tarefas, melhorando assim sua perspectiva sobre o processo de produção do qual fazem parte e, por este motivo acreditamos que sempre podemos fazer mais e melhor. Exemplificando, podemos considerar o estudo de caso apresentado onde, além das melhorias já obtidas, podemos avançar ainda mais na qualidade do sistema caso, o circuito pudesse ser capaz de reagir as variações da alimentação sem a necessidade de intervenção humana, ou seja, as informações geradas no analisador online, fossem processadas pela própria máquina e, através de um algoritmo ela tomasse a decisão de qual potência seria enviado para o motor do moinho. Ou talvez, adicionar um analisador de teor na descarga das células de flotação que, fizesse análises da concentração de cobre a cada minuto e, retransmitisse essa informação para sala de controle. Com isso os operadores teriam ainda mais controle da qualidade de sua operação.

O mundo do controle e automação é universo enorme a ser desbravado, há a necessidade de ser evoluir, trazer melhores condições de trabalho para humanos e máquinas, porém é preciso estar sempre atento para analisar todas as

possibilidades onde, qualquer opinião sempre deve ser bem-vinda e pensar sempre pensando fora da caixa.

6. METODOLOGIAS

Tratou-se de revisão da literatura e estudo de caso, baseando-se na busca de artigos publicados entres 2013 a 2020 e trabalhos de campo. As bases de dados utilizadas serão: SCIELO (Scientific Electronic Library Online); Google acadêmico. Os descritores utilizados para a busca foram: Controle e automação; Indústria e Mineração. Os critérios de inclusão utilizados serão: artigos que respondessem à questão de metodologia de projeto, e os critérios de exclusão foram: editoriais, artigos de revisão da literatura e artigos que não respondessem à questão de outras metodologias proposto por este estudo.

Assim como o estudioso Andrade (2013) mostra que a pesquisa é o conjunto de procedimentos sistemáticos, baseado no raciocínio lógico, que tem por objetivo encontrar soluções para problemas propostos, mediante a utilização de métodos científicos. Segundo Ferrão (2013) quanto aos objetivos, à pesquisa divide-se em exploratória, descritiva e explicativa. Analisando os objetivos da pesquisa serão utilizadas as pesquisas exploratórias e descritivas.

A pesquisa pode ser classificada sob três aspectos: quanto aos objetivos, quanto à abordagem do problema e quanto aos procedimentos. No tocante aos seus objetivos, a pesquisa que gerou este texto caracterizou-se como sendo de natureza exploratória e descritiva. As pesquisas exploratórias têm por fim “[...] mostrar mais contexto com o problema, tornando o assim mais explícito ou construindo hipóteses, sendo assim estas pesquisas têm como o grande objetivo aprimorar as ideias.” (GIL, 2018 p. 45).

O tipo do estudo é uma revisão bibliográfica, pesquisas do tipo tem o objetivo primordial à exposição dos atributos de determinado fenômeno ou afirmação entre suas variáveis (GIL, 2018). Assim, recomenda-se que apresente características do tipo: analisar a atmosfera como fonte direta dos dados e o pesquisador como um

instrumento interruptor; não agenciar o uso de artifícios e métodos estatísticos, tendo como apreensão maior a interpretação de fenômenos e a imputação de resultados, o método deve ser o foco principal para a abordagem e não o resultado ou o fruto, a apreciação dos dados deve ser atingida de forma intuitiva e indutivamente através do pesquisador (GIL, 2018).

Quanto à abordagem do estudo, tendo em consideração os objetivos definidos, considerou-se mais adequada a adoção de uma metodologia qualitativa. Conforme Richardson (2019), mostra que vários estudos os quais empregam assim uma metodologia qualitativa “[...] podem descrever a complexidade de determinado problema, analisar a interação de certas variáveis, compreender e classificar processos dinâmicos vividos por grupos sociais.”

Segundo Ferrão (2013) mostra que são considerados documentos: os livros, revistas, jornais, Internet, anuários, estatísticos, monografias, mapas, documentos audiovisuais, entre outras fontes, que contém informações fundamentais sobre a proposta do trabalho. As possibilidades de tratamento e análise dos dados depois de coletados, os dados serão analisados e interpretados.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C. M. Indústria 4.0: O Plano Estratégico da Manufatura Avançada nos EUA. 2019.

ALVES, R. A participação brasileira na maior convenção de exploração mineral. Revista Brasil Mineral. Ano XXXVI, n.388, p.18-20. mar. 2019.

ANDRADE, M. M. Introdução à Metodologia do Trabalho Científico. 6 Ed. São Paulo: Atlas, 2013.

ARNOLD, C.; KIEL, D.; VOIGT K-I. Innovative Business Models for the Industrial Internet of Things. Conference: International Association for Management of Technology (IAMOT). Vienna, Austria, v.26, 2017.

BITKOM; VDMA; ZVI. Implementation Strategy Industrie 4.0: report on the results of the industrie 4.0 platform. Plattform Industrie 4.0 (2013-2015). Frankfurt, Alemanha, 2016.

DNPM – **DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL**. Sumário mineral 2014. Brasília, 2014.

IBRAM. **Gestão E Manejo De Rejeitos Da Mineração**. Brasília, DF. 2016.

NETO, A. A. et al. **A busca de uma identidade para a indústria 4.0**. Brazilian Journal of Development. v.4, n.4, p.1379-1395, 2018.

NOLAN, A, **Artificial intelligence, and the technologies of the Next Production Revolution**. In: OECD. Science, Technology and Innovation Outlook 2018. p.51-74. 2019.

PAIOLA, C. **As aplicações de Realidade Aumentada na Indústria 4.0**. Portal Indústria 4.0. mai. 2019.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

SANTOS, J. C. D.; SILVA, M. L. D.; VIEIRA., M. A. D. S. **Processo de Construção de Barragem de Rejeito de Minério**. Belo Horizonte, MG. 2018.

KLEIN, C. & Hurlbut, C. S., Jr. **Dana's manual of mineralogy**. 21a. edição. John Wiley & Sons, Inc. 683p. 1999.