

ASSOCIAÇÃO EDUCATIVA EVANGÉLICA
FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA – FACEG
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

WERLEY GONÇALVES MIRANDA

**ANÁLISE DA MELHORIA DO CHUTE DE ALIMENTAÇÃO DOS
CALCINADORES DE UMA PLANTA DE FERRONÍQUEL**

GOIANÉSIA

2021

2021	ANÁLISE DA MELHORIA DO CHUTE DE ALIMENTAÇÃO DOS CALCINADORES DE UMA PLANTA DE FERRO NÍQUEL. WERLEY GONÇALVES MIRANDA.	FACEG
------	---	-------

WERLEY GONÇALVES MIRANDA

**ANÁLISE DA MELHORIA DO CHUTE DE ALIMENTAÇÃO DOS
CALCINADORES DE UMA PLANTA DE FERRONÍQUEL**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

GOIANÉSIA
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

M672a

Miranda, Werley Gonçalves.

Análise da Melhoria do Chute de Alimentação dos Calcinadores de uma Planta de Ferroníquel / Werley Gonçalves Miranda – Goianésia : Faculdade Evangélica de Goianésia, 2021 – Faceg, 2021.
35 p.; il.

Orientador: Prof. Dr. Alessandro Rodrigues Faria.

Monografia de Graduação – Faculdade Evangélica de Goianésia: FACEG, 2021.

1. Avaliação de eficácia. 2. Chute de alimentação. 3. Entupimento de chute. 4. Projeto de chute.

I. Miranda, Werley Gonçalves. II. Análise da Melhoria do Chute de Alimentação dos Calcinadores de uma Planta de Ferroníquel Título

CDU 621

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

MIRANDA, W. G. **Análise da Melhoria do Chute de Alimentação dos Calcinadores de uma Planta de Ferroníquel**. 2021. 33 p. TCC - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2021

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Werley Gonçalves Miranda

TÍTULO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO: Análise da Melhoria do Chute de Alimentação dos Calcinadores de uma Planta de Ferroníquel

GRAU: Bacharel em Engenharia Mecânica

ANO: 2021

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia permissão para reproduzir cópias desta Monografia de Graduação, única e exclusivamente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva para si os outros direitos autorais de publicação. Nenhuma parte desta Monografia pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor. Citações são estimuladas, desde que citada a fonte.



Nome: Werley Gonçalves Miranda

CPF: 910.872.871-20

Email: werley_planejamento@outlook.com

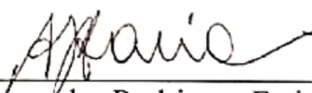
WERLEY GONÇALVES MIRANDA

**ANÁLISE DA MELHORIA DO CHUTE DE ALIMENTAÇÃO DOS
CALCINADORES DE UMA PLANTA DE FERRONÍQUEL**

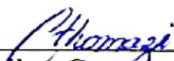
Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica, da Faculdade Evangélica de Goianésia - FACEG, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Goianésia, 02 de julho de 2021.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Alessandro Rodrigues Faria - Orientador
Faculdade Evangélica de Goianésia



Prof. Dr. Cléber Caetano Thomazi - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia



Prof. Dr. Thiago Ferreira da Cunha - Avaliador
Faculdade Evangélica de Goianésia

Dedico este trabalho à minha esposa Mônica Barros e aos meus dois filhos, Gabriel Miranda e Maria Eduarda Miranda, por todo apoio e compreensão durante esta etapa de minha vida.

A Deus.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, razão da existência, que proporciona a energia para preencher o todo e para continuar sempre desvendando os mistérios.

Agradeço ao coordenador do curso de Engenharia Mecânica Cléber Caetano Thomazi, por inspirar constantemente o melhor desempenho no curso.

A cada um dos professores que no decorrer de minha formação acadêmica oportunizaram o meu crescimento, transmitiram sabedoria e provocaram a busca pelo conhecimento.

Ao meu orientador, Alessandro Rodrigues Faria, por total dedicação, profissionalismo, atenção e insistência empreendidos para o alcance das metas deste trabalho.

Aos meus colegas de curso pela troca de experiências e pela contribuição para o desenvolvimento enriquecimento intelectual e desenvolvimento.

E, a mim mesmo, pela garra e determinação, sem medir esforços e em acreditar que tudo é possível para superar os desafios, transformando os obstáculos em oportunidades de continuar o meu desenvolvendo.

RESUMO

Este estudo tem como objetivo avaliar a eficácia do projeto de troca dos chutes de alimentação dos calcinadores de uma mineradora, focando em “paradas de produção” por entupimentos. Assim, pretendeu-se avaliar os dados coletados ao longo de um intervalo de trinta e seis meses para verificar a eficácia dos novos modelos de chutes de alimentação e confrontar se houve diminuição no número de horas de paradas não programadas. Para tanto, foi realizado um estudo de caso e, a partir da análise dos dados obtidos do relatório de produção da mineradora, foi possível perceber a importância de uma avaliação criteriosa no dimensionamento dos chutes de alimentação, havendo uma diminuição de 75,6% no número médio de horas paradas não programadas com a implementação do projeto de troca dos chutes. Por fim, pôde-se chegar à conclusão de que os novos modelos de chutes de alimentação se mostraram eficazes na tratativa do problema de entupimentos. Logo, o estudo contribuiu para a validação dos resultados positivos que o projeto trouxe para a empresa.

Palavras-Chave: Avaliação de eficácia. Chute de alimentação. Entupimento de chute. Projeto de chute.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the effectiveness of the project to change the feed chutes of a mining company's rotary kiln, focusing on "production stoppages" due to clogging. Thus, it was intended to evaluate the data collected over a thirty six months interval to verify the effectiveness of the new models of feed chutes and to compare whether there was a decrease in the number of hours of unscheduled shutdowns. For this, a case study was carried out and, based on the analysis of the data obtained from the mining company's production report, it was possible to realize the importance of a careful evaluation in the sizing of the feed chutes, with a 75.6% decrease in the average number of unscheduled downtime hours with the implementation of the chute change project. Finally, it was possible to conclude that the new models of feeding chutes proved to be effective in treating the clogging problem. Therefore, the study contributed to the validation of the positive results that the project brought to the company.

Keywords: Evaluation of effectiveness. Chute clogging. Chute design. Feed Chute.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Layout das instalações do chute de alimentação dos calcinadores	13
Figura 2 – Modelo de chute de transferência e suas repartições	16
Figura 3 – Comportamento do fluxo de materiais a granel	18
Figura 4 – Chute entupido – Minério acumulado.....	20
Figura 5 – Operador realizando limpeza com Ar Comprimido.....	20
Figura 6 – Projeto original do chute de alimentação dos calcinadores	21
Figura 7 – Tempo de entupimentos diário do chute de alimentação dos calcinadores agravados durante o período chuvoso.....	22
Figura 8 – Minério de Níquel	23
Figura 9 – Carvão Mineral.....	23
Figura 10 – Pelotas de Minério.....	23
Figura 11 – Superfície de CastoCeram®.....	24
Figura 12 – Superfície de CDP® 3952.....	25
Figura 13 – Recomendação para modificações do chute e simulação DEM	26
Figura 14 – Arranjo geral do novo chute conforme recomendação para modificações	26
Figura 15 – Fabricação do tubo de alimentação finalizada	27
Figura 16 – Defletor do fluxo de minério.....	27
Figura 17 – Vista interna do tubo de alimentação	28
Figura 18 – Miscelâneas mecânicas	28
Figura 19 – Montagem em campo em 2018.....	29
Figura 20 – Montagem do novo chute em 2018.....	29
Figura 21 – Montagem do tubo de alimentação - Concluída	30
Figura 22 – Planilha de reporte de produção dos calcinadores	31

Figura 23 – Dados obtidos dos relatórios da empresa.....	31
Figura 24 – Tempo de entupimentos mensal dos chutes de alimentação dos calcinadores	32
Figura 25 – Média de horas paradas por entupimentos no período entre 2016 e 2020	33

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Horas produzidas pelos fornos calcinadores 1 e 2 entre 2016 e 2020	32
---	----

LISTA DE SIGLAS

GO: Goiás

SP: São Paulo

J&J: Jenike & Johanson

DEM: método dos elementos discretos

CCO: Centro de Controle e Operação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Objetivo Geral.....	14
1.2	Objetivos Específicos	14
1.3	Justificativa.....	15
1.4	Problema de Pesquisa	15
1.5	Hipótese.....	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Chutes de Alimentação	16
2.2	Simulação de Elementos Discretos (DEM)	17
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	Caracterização do Ambiente de Estudo.....	19
3.2	Histórico dos Chutes da Mineradora de Ferroníquel.....	19
3.2.1	Projeto original do chute de alimentação.....	21
3.2.2	Determinação de Propriedades de Fluxo	22
3.2.3	Modificações do Projeto	25
3.2.4	Fabricação e Montagem	26
3.3	Coleta dos Dados.....	30
3.4	Tratamento dos Dados.....	31
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
5	CONCLUSÃO.....	34
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

A mineração é caracterizada pela movimentação/transporte massivo de minério e insumos. Milhões de toneladas de materiais com diferentes propriedades físicas e químicas são processados todos os dias, tais como: distribuição de tamanho de partícula, forma, densidade, umidade, mineralogia, etc. Os materiais processados são armazenados e transportados por diversos equipamentos, como silos, tremonhas, pilhas, rampas, alimentadores, transportadores de correia, etc. (RUIZ; MARIN; MAZZINGHY, 2014).

Os chutes de transferência são equipamentos muito importantes durante o transporte de minério, e devem ter uma avaliação criteriosa durante estudos de engenharia de modo a evitar perda de produção (RUIZ; MARIN; MAZZINGHY, 2014).

A planta industrial da mineradora no município de Barro Alto – GO, entrou em operação no primeiro semestre de 2011. No processo de produção de níquel, a planta conta com dois fornos calcinadores. Os fornos são alimentados através de transportadores de correias e do chute de transferência/alimentação com uma mistura de minério de níquel, carvão mineral e pelota de minério. A Figura 1 mostra a localização dos transportadores de correia do calcinador e do chute de alimentação.

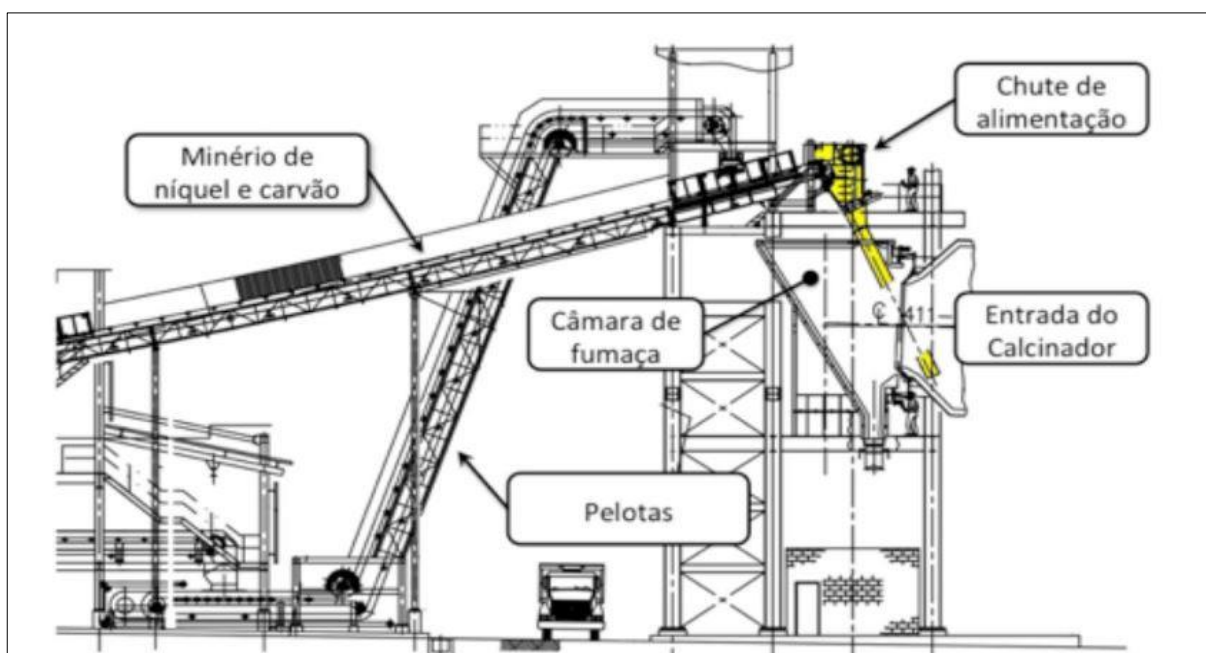


Figura 1 – Layout das instalações do chute de alimentação dos calcinadores

Fonte: Ito *et al.* (2018).

O presente trabalho trata da análise de funcionalidades e da eficiência dos novos chutes de alimentação dos calcinadores da mineradora de ferroníquel. A análise é feita com base em

uma avaliação quantitativa, comparando os coeficientes de desempenho entre o conceito inicial do projeto com a nova concepção dos chutes implantada. Com base nos dados coletados, avaliou-se a operação diária dos novos chutes, comparado com o conceito anterior.

Os chutes de alimentação fazem parte da cadeia de produção no transporte de materiais a granel e são importantes para qualquer negócio que adota esta categoria de equipamento. Com o mercado altamente competitivo na produção de níquel, chutes precisam ter uma operação ininterrupta garantida. Nesse contexto, é necessário desenvolver métodos e estratégias que contribuam para reduzir as paradas não programadas da produção.

O trabalho está estruturado em capítulos, e de concordância, com os assuntos estão faseados, os quais estão descritos na seguinte ordem. No capítulo 1 é apresentada a introdução ao assunto do trabalho, que inclui a apresentação do tema, o objetivo geral, os objetivos específicos, a justificativa, o problema de pesquisa e a hipótese. O capítulo 2 contempla o referencial teórico com revisão de literatura, servindo como base ao entendimento dos conceitos e da proposta deste estudo. No terceiro capítulo é abordada a metodologia utilizada para representar a aplicação prática. O quarto capítulo apresenta os resultados obtidos, a análise e a discussão dos dados. No capítulo 5 é apresentada a conclusão do trabalho com sugestões para a empresa aplicar a metodologia na sua rotina. Ainda, após o capítulo final, ocorre a exposição de todas as referências bibliográficas, que serviram de apoio à estruturação deste trabalho.

1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é avaliar se a implementação dos novos modelos de chutes de alimentação dos calcinadores foi positiva, diminuindo as paradas de produção causadas por entupimentos.

1.2 Objetivos Específicos

- Entender o histórico de paradas da produção.
- Apresentar os benefícios gerados pela troca dos modelos de chutes de alimentação.
- Estudar os chutes de alimentação.
- Estudar o projeto implantado pela empresa Jenike & Johanson.

1.3 Justificativa

Os chutes de alimentação fazem parte da cadeia de produção no transporte de materiais a granel e são importantes para qualquer negócio que adota esta categoria de equipamento. Com o mercado altamente competitivo na produção de níquel, chutes precisam ter uma operação ininterrupta garantida. Embora seu custo não represente um dos maiores gastos, tanto na implantação como no funcionamento e na manutenção, o seu monitoramento de forma frequente é indispensável para garantir seu pleno funcionamento.

No entanto, se não bem dimensionados, os chutes podem ser responsáveis por paradas não programadas. Nesse caso, é necessário avaliar e desenvolver métodos e estratégias que contribuam para reduzir o número de paradas durante o processo de produção.

Dessa forma, faz-se necessário o desenvolvimento destes métodos e estratégias que contribuam com os objetivos da empresa, possibilitando o avanço em melhorias dos indicadores operacionais e, conseqüentemente, a diminuição de custos industriais. Destaca-se que as instalações dos chutes na mineradora foram concluídas no final de abril de 2019 e, desde então, não foi apresentado nenhum relatório referente ao desempenho e avaliação do mesmo.

Este trabalho é relevante para o monitoramento dos custos de operação da mineradora, visto que foi observado se houve redução no número de paradas devido a entupimento ou não.

1.4 Problema de Pesquisa

Diante do exposto, parte-se da seguinte pergunta norteadora: A implementação de novos modelos de chutes de alimentação dos calcinadores diminuiu a quantidade de paradas de produção causadas por entupimentos?

1.5 Hipótese

- A implementação de novos modelos de chutes de alimentação dos calcinadores diminuiu a quantidade de paradas de produção causadas por entupimentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Chutes de Alimentação

De acordo com Negris (2018), o correto dimensionamento dos chutes é de fundamental importância no processo. Neste contexto, fica clara a importância de se conhecer bem as características do material manuseado.

Para Swinderman *et al.*, (2009, p. 15) “O dimensionamento em projeto de chutes é influenciado por condições como a capacidade de transporte, as características do material manuseado, a velocidade e a inclinação da correia e o número de zonas de carregamento do transportador”.

Um chute corretamente projetado reduz as emissões fugitivas, retendo dessa maneira o material originado no processo em que está inserido, além de evitar entupimentos. Em condições usuais, chutes de alimentação são instalados ao final de uma correia, porém, devem ser bem dimensionados ou especificados para obterem pleno funcionamento.

Segundo Swinderman *et al.*, (2009, p. 12) “O projeto de um chute de transferência convencional normalmente é feito por um projetista experiente ou por um engenheiro de manuseio de materiais a granel, utilizando princípios básicos praticados pela indústria”.

O chute de alimentação tradicional geralmente consiste nas seguintes partes, conforme mostrado na Figura 2.

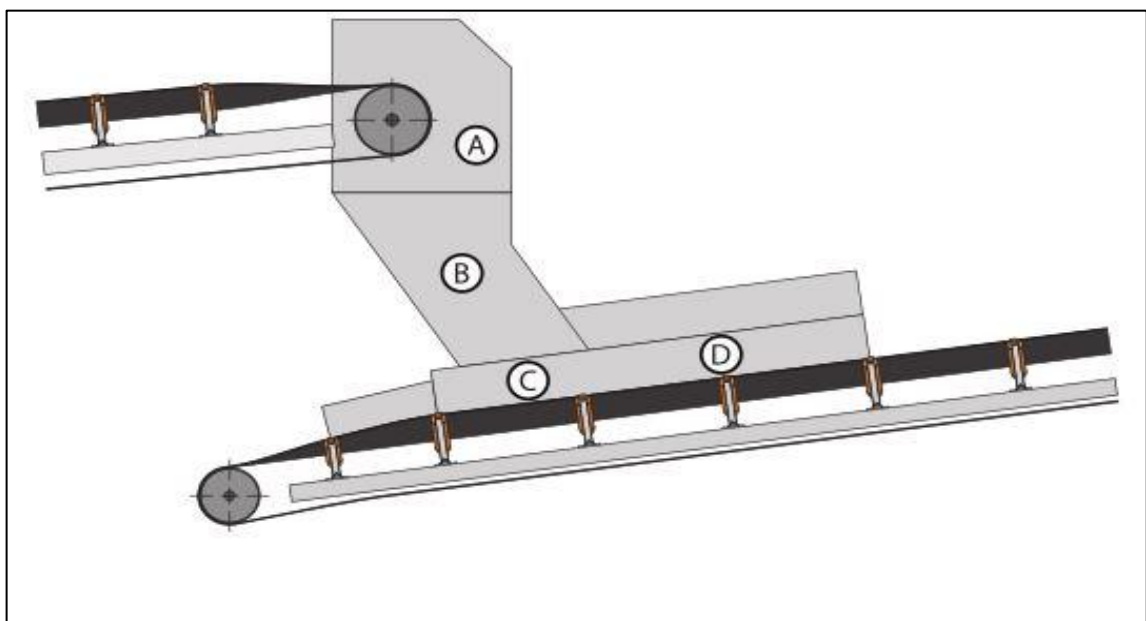


Figura 2 – Modelo de chute de transferência e suas repartições
 Legenda: A) Chute Dianteiro – Parede dianteira; B) Chute de Queda; C) Chute de Carga; D) Zona de Acomodação.

Fonte: Swinderman *et al.* (2009).

Pode-se dizer que se o chute de transferência não for devidamente projetado, considerando a geometria, pode ocasionar problemas, uma vez que a mesma deve ser estabelecida de modo que o mínimo de material possível se acumule na parede frontal do chute.

Neste contexto, de acordo com Swinderman *et al.* (2009), o caminho que o material a granel segue enquanto é descarregado do transportador alimentador, é chamado de trajetória.

Ruiz, Marin e Mazzinghy (2014), afirmam que se deve manter a inclinação mínima para o fluxo de materiais após o impacto sobre a superfície da parede plana. Assim, é possível projetar precisamente os chutes de transferência.

No entanto, durante a fase de projeto, por vezes não são considerados parâmetros como ângulo do chute e fluxo do material. Assim, podem ocorrer entupimentos e desgastes prematuros com o equipamento em operação, elevando os custos operacionais (SWINDERMAN *et al.*, 2009).

2.2 Simulação de Elementos Discretos (DEM)

Em instalações já construídas e em operação, muitos problemas ocorrem em relação aos chutes de transferência. Isso ocorre porque eles são projetados por estimativa de dimensões ou pela experiência que os engenheiros adquiriram ao longo dos anos em diferentes instalações. Isso pode resultar em altos custos de reparos e manutenção. Cada chute é único e deve ser projetado de forma muito específica. Além disso, testes em grande escala geralmente não são possíveis.

Uma ferramenta útil no projeto de chutes de transferência ideal são programas de simulação computacional, baseados no método de elemento discreto (DEM, do inglês: *Discrete Element Method*) com projeto auxiliado por computador (CAD, do inglês: *Computer Aided Design*). Muitos programas de simulação para projeto de chute estão no mercado, como Chute Maven, Chute Analyst, EDEM da DEMsolutions e outros. Com o desenvolvimento de computadores cada vez mais poderosos, a simulação DEM se torna cada vez mais interessante e aplicável para a ciência e a indústria (AKHIL PRASAD, 2020; DOROSZUK; KRÓL, 2019).

Nestes programas de simulação, partículas de sólidos a granel reais são substituídas por formas geométricas como, mas não limitado a partículas esféricas (os elementos discretos) com diâmetros diferentes. É calculada a interação de cada partícula esférica com as partículas vizinhas e com a parede de revestimento do chute. Também é possível para a simulação criar geometrias de materiais mais complexas, combinando um número de partículas esféricas em

uma só, de modo a formar um elemento discreto de maior tamanho, dependendo da interação do material.

O resultado do cálculo pode ser visualizado em um videoclipe que mostra o movimento das partículas dentro dos limites geométricos escolhidos do chute, conforme Figura 3.

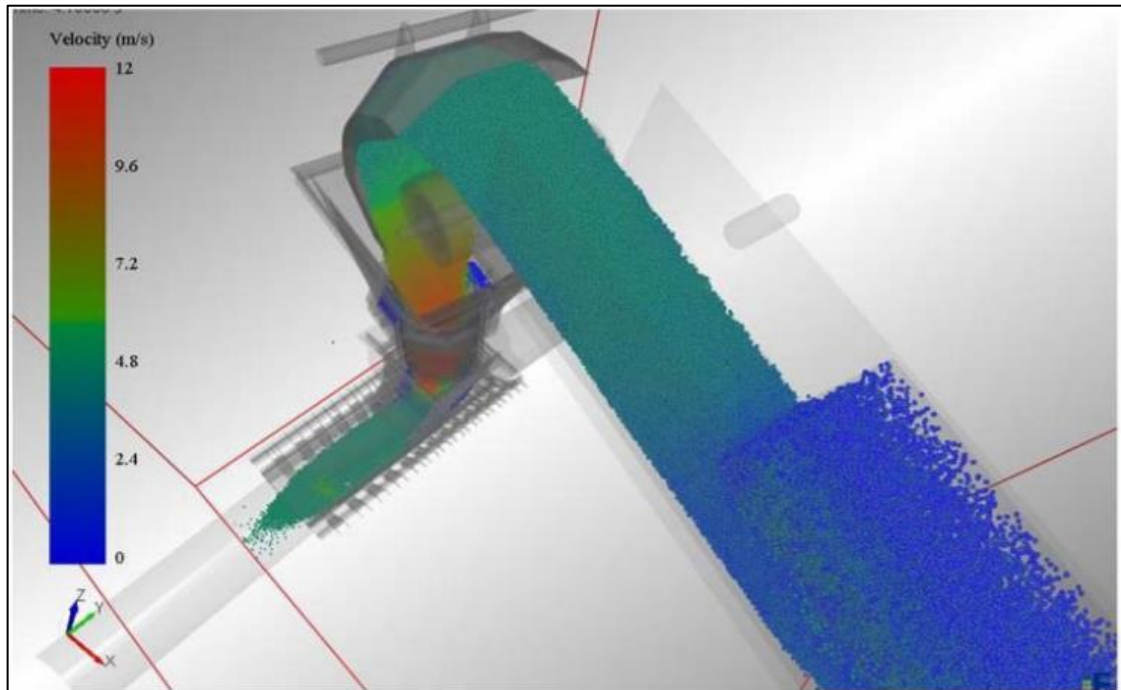


Figura 3 – Comportamento do fluxo de materiais a granel
Fonte: Akhil Prasad (2020).

3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da monografia foi utilizado o método de estudo de caso. O estudo de caso é um trabalho de caráter empírico que investiga um dado fenômeno dentro de um contexto real contemporâneo por meio de análise aprofundada de um ou mais objetos de análise (casos). Essa análise possibilita amplo e detalhado conhecimento sobre o fenômeno, possibilitando, inclusive, a geração de teoria (MIGUEL *et al.*, 2012).

É, na verdade, uma espécie de histórico do fenômeno, extraído de múltiplas fontes e evidências onde qualquer fato relevante à corrente de eventos que descrevem o fenômeno é um dado potencial para o estudo de caso, pois, o contexto é importante (LEONARD-BARTON, 1990).

Dentre os benefícios principais da condução de um estudo estão a possibilidade do desenvolvimento de novas teorias e de aumentar o entendimento sobre eventos reais e contemporâneos (SOUSA, 2005).

3.1 Caracterização do Ambiente de Estudo

A empresa na qual o presente estudo foi desenvolvido está localizada no município de Barro Alto – GO. Uma indústria de grande porte do setor de mineração na produção de ferroníquel, que entrou em operação no primeiro semestre de 2011. Esta será tratada para os devidos fins, como Empresa de Mineração.

O foco da pesquisa está no setor de produção, mais especificamente no processo de calcinação do minério, envolvendo a operação do chute de alimentação.

3.2 Histórico dos Chutes da Mineradora de Ferroníquel

A planta industrial da mineradora no município de Barro Alto – GO, entrou em operação no primeiro semestre de 2011 e sua produtividade logo em seguida já apresentava problemas devido aos constantes entupimentos nos chutes de alimentação dos Fornos Calcinadores.

A produção de níquel era frequentemente interrompida devido a entupimento nos chutes, ocorrendo de 2 a 3 vezes por turno e podendo ultrapassar esses números durante o período chuvoso na região. O agravante da situação é a exposição do operador a condição de risco durante o processo de limpeza, uma vez que a temperatura do fluxo gasoso no local é de

cerca de 350 °C. Ademais, o sistema não pode sofrer desligamentos constantes ou repentinamente para não prejudicar o perfil térmico do forno.

Na Figura 4 pode-se observar um dos chutes entupidos e na Figura 5 ilustra-se também o processo de limpeza manual pelo operador local, utilizando ar comprimido.

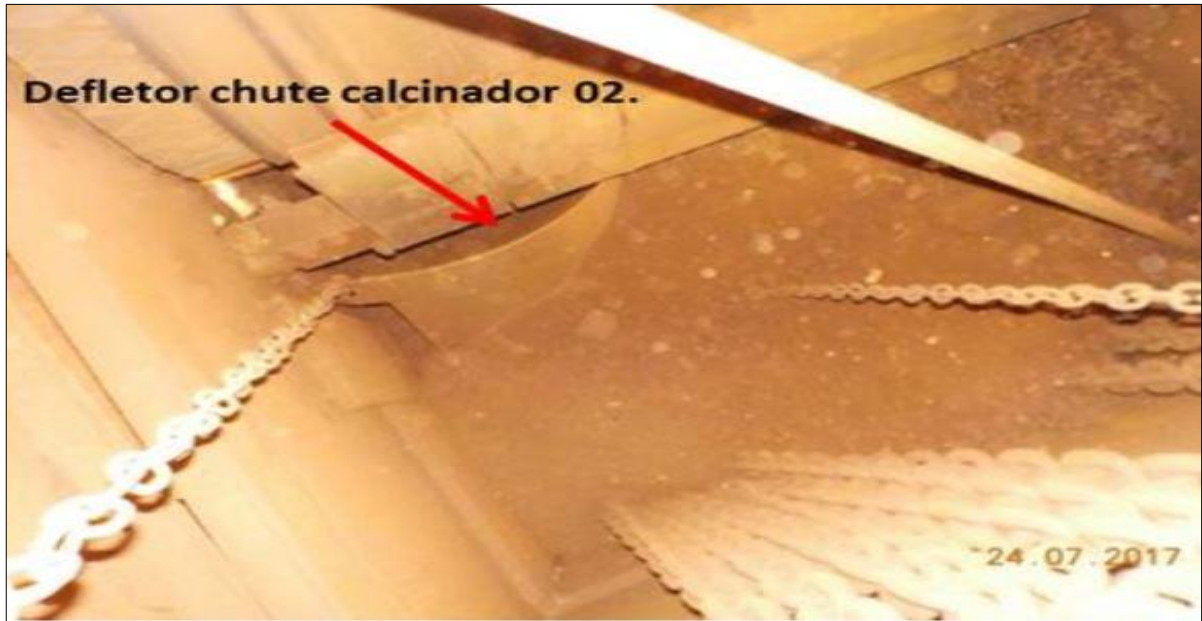


Figura 4 – Chute entupido – Minério acumulado
Fonte: Ito *et al.* (2018).



Figura 5 – Operador realizando limpeza com Ar Comprimido
Fonte: Ito *et al.* (2018).

3.2.1 Projeto original do chute de alimentação

A Figura 6 mostra o projeto original dos chutes existentes, bem como a trajetória prevista da corrente de material e os dois pontos de impacto.

O material descarregado a partir da correia transportadora atinge diretamente a parede frontal da transição, logo abaixo da válvula guilhotina. Em cada ponto de impacto, ocorre aderência de material devido à elevada pressão de impacto e às características adesivas do material que está sendo alimentado. Além disso, o impacto com uma superfície plana provoca o espalhamento do material, reduzindo a velocidade de fluxo e permitindo a incrustação (formação de crosta) nas superfícies laterais menos íngremes. Com o tempo, essa incrustação aumenta, reduzindo consideravelmente a área disponível da seção transversal do chute e eventualmente obstruindo o chute completamente. Os maiores problemas de desgaste eram observados nos mesmos pontos de impacto (ITO *et al.*, 2018).

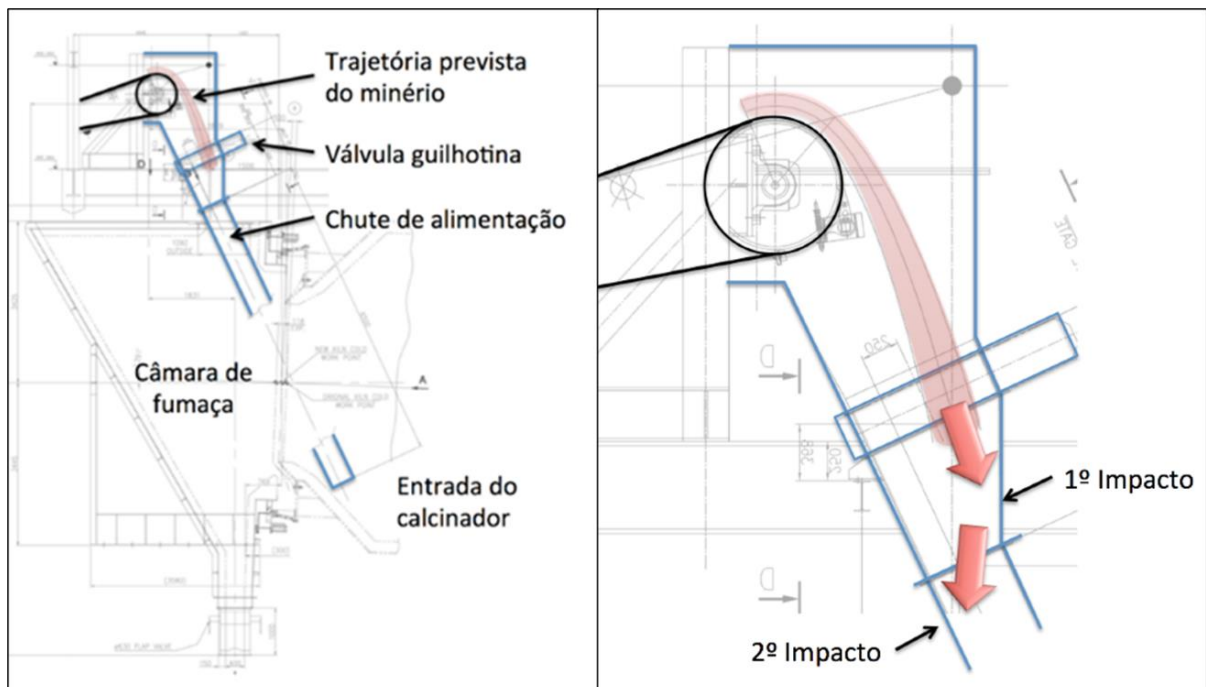


Figura 6 – Projeto original do chute de alimentação dos calcinadores

Fonte: Ito *et al.* (2018).

Na Figura 7 é possível observar o agravamento dos entupimentos durante o período chuvoso na região, que ocorre entre os meses de novembro e abril.

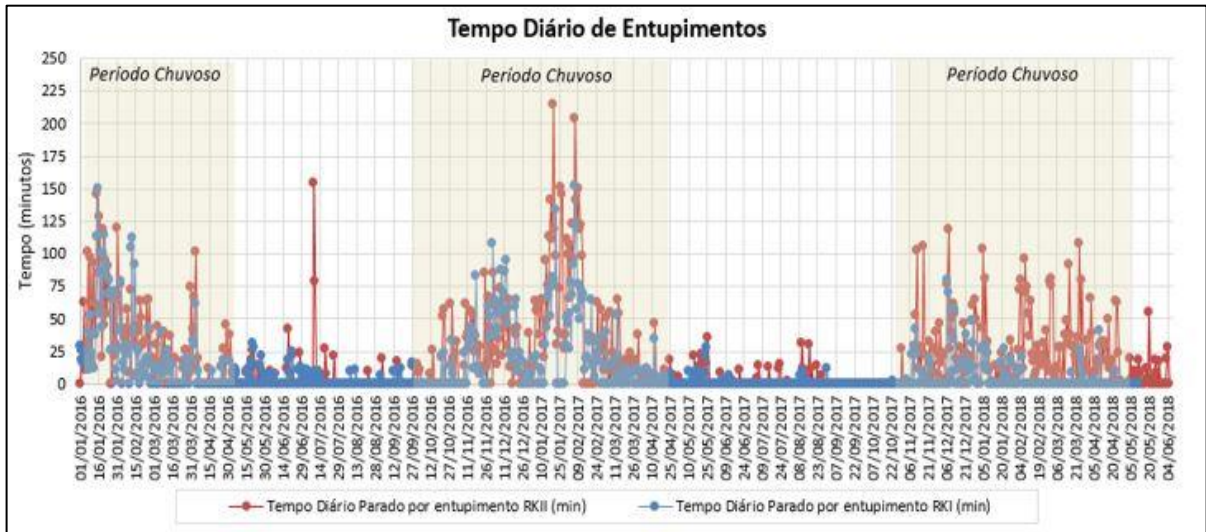


Figura 7 – Tempo de entupimentos diário do chute de alimentação dos calcinadores agravados durante o período chuvoso

Fonte: Ito *et al.* (2018).

Previamente, canhões de ar comprimido foram instalados no chute de alimentação dos calcinadores numa tentativa de resolver o problema. Apesar de reduzir a frequência de entupimentos, a ação dos canhões, compacta o material nas paredes opostas, tornando a desobstrução e limpeza mais difícil e demorada. Outras tentativas de solução do problema foram implementadas sem sucesso, como incluir diferentes materiais de revestimento.

3.2.2 Determinação de Propriedades de Fluxo

Assim, buscando solucionar os problemas de entupimento contínuo, a empresa Jenike & Johanson (J&J), uma empresa norte-americana com filial em Vinhedo – SP, foi contratada para fornecer um novo projeto conceitual e soluções de engenharia detalhada. A empresa é especializada em análise de sólidos granulares e utilizou amostras fornecidas pela mineradora para testar e medir as características de escoamento da mistura em seu laboratório.

Nas Figura 8, 9 e 10 são apresentados os materiais como recebido na J&J.



Figura 8 – Minério de Níquel
Fonte: Jenike & Johanson (2016).

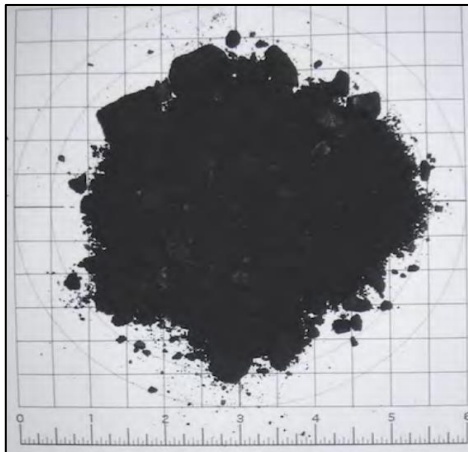


Figura 9 – Carvão Mineral
Fonte: Jenike & Johanson (2016).



Figura 10 – Pelotas de Minério
Fonte: Jenike & Johanson (2016).

É importante ressaltar que durante a operação, cada produto é dosado sobre a correia transportadora de forma independente, mas há determinados momentos em que as proporções de cada material não são mantidas. “Tendo como base testes preliminares, escolheu-se, de modo conservativo, utilizar uma mistura de 94% de minério e 6% de carvão saturado para testes de fluxo. Foi verificado o nível de umidade dos finos de 25% após o material ser classificado e separado para ensaio”. (JENIKE & JOHANSON, 2016).

Com base nas características do material escolhido, a J&J realizou testes de fluxo com diferentes superfícies.

As superfícies escolhidas incluíram, segundo Jenike & Johanson (2018, p. 06):

Aço inoxidável, placas bimetálicas com depósitos de solda de alta dureza (especificamente o CDP® 3952), e uma cerâmica com alto teor de alumina (especificamente o CastoCeram®). O bimetal apresenta melhores resultados em termos do ângulo de atrito com a parede. No entanto, após uma pressão de impacto moderada (acima de 7kPa), o ângulo crítico de chute atingiu o valor limite de 90°, ou seja, o material não deslizará ao longo da superfície apenas pela gravidade.

Nas Figuras 11 e 12 são mostradas as fotos das superfícies utilizadas nos ensaios de atrito na parede.

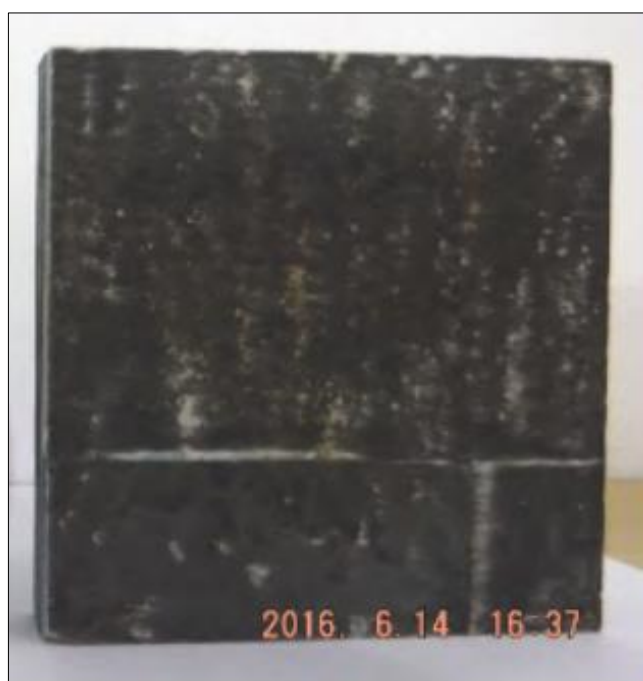


Figura 11 – Superfície de CastoCeram®

Fonte: Jenike & Johanson (2016).



Figura 12 – Superfície de CDP® 3952

Fonte: Jenike & Johanson (2016).

Com base nas características do escoamento e análises com utilização do método numérico de simulação de elementos discretos (DEM), foi apresentado para aprovação da mineradora o novo conceito de chutes de alimentação através de um relatório.

3.2.3 Modificações do Projeto

Com base nas propriedades de fluxo, a J&J desenvolveu algumas alternativas de modificação do projeto funcional do chute.

As modificações recomendadas pela J&J incluíram, segundo Ito *et al.* (2018, p. 06):

- Novo Defletor: O defletor superior é instalado logo após o tambor, com a função de capturar a corrente de fluxo, transferindo para o próximo segmento de chute de forma controlada, minimizando os ângulos de mudança de direção e o impacto contra as paredes. O impacto da corrente de fluxo com o defletor foi escolhido de forma minimizar incrustação e manter a superfície limpa pela própria corrente de fluxo.
- Novo chute de transição. O chute de transição conecta a válvula guilhotina ao chute de carregamento do Calcinador. Este possui seção transversal com cantos chanfrados para reduzir o potencial de incrustação de material e manter a corrente de fluxo concentrada. Apenas a superfície de deslizamento é revestida com chapa bimetálica.
- Novo chute de carregamento do Calcinador. A largura do chute precisou ser modificada para compatibilidade com a peça de transição. Assim como na transição, chapas quebra-canto são usadas para manter a corrente de fluxo do material concentrada ao mesmo tempo que reduz a tendência de incrustação. Apenas a superfície em contato com os sólidos é revestida com a chapa bimetálica.

Nas Figuras 13 e 14 é apresentado o resultado do novo conceito de chute e calha que foi extraído do relatório final da empresa J&J.

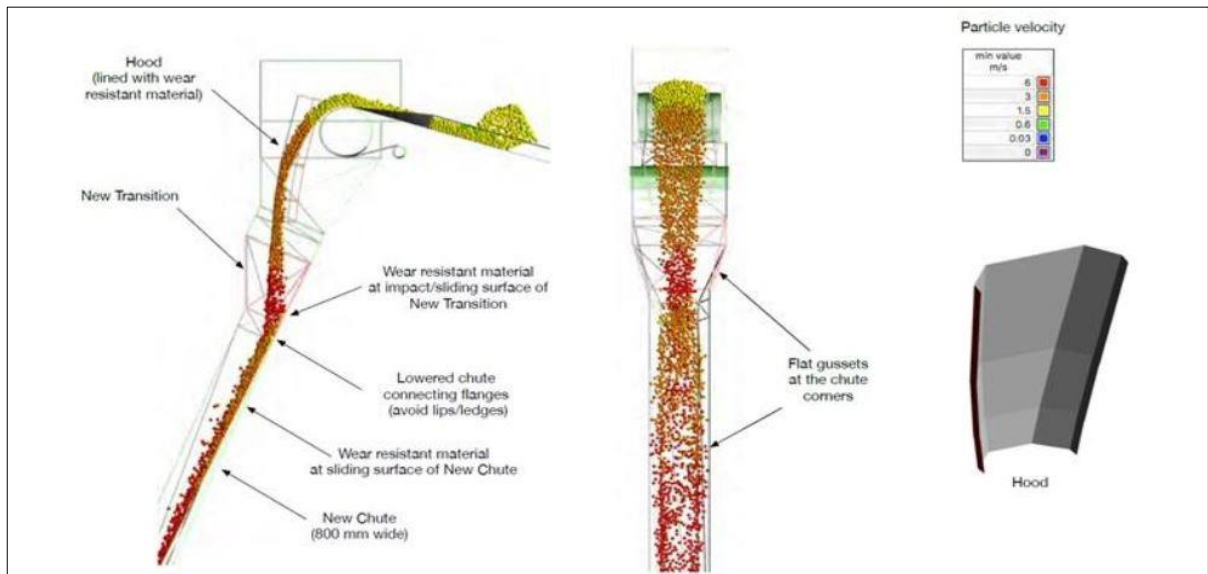


Figura 13 – Recomendação para modificações do chute e simulação DEM

Fonte: Jenike & Johanson (2016).

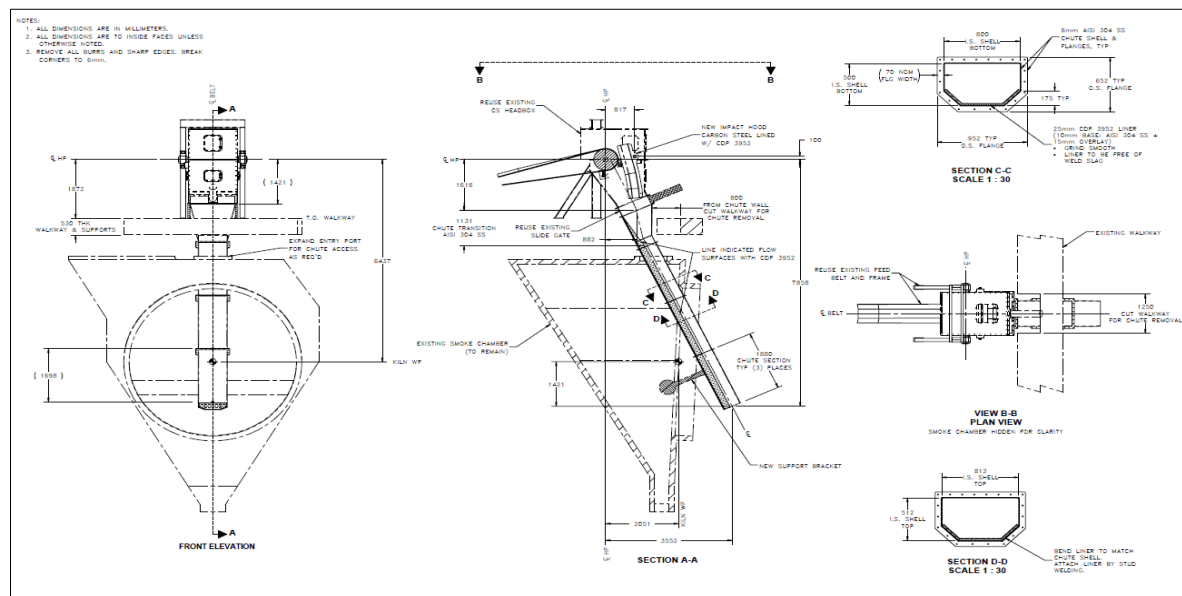


Figura 14 – Arranjo geral do novo chute conforme recomendação para modificações

Fonte: Jenike & Johanson (2016).

3.2.4 Fabricação e Montagem

A mineradora buscou, dentro de seu histórico de fornecedores, os mais capacitados para realizar a entrega de dois conjuntos de chutes e calhas. Durante o período de fabricação, a J&J

realizou diversas diligências para acompanhar a produção dos novos conjuntos de chutes de alimentação.

Nas Figuras 15, 16, 17 e 18 pode-se observar os conjuntos fabricados do novo chute de alimentação, defletor do fluxo e miscelâneas.



Figura 15 – Fabricação do tubo de alimentação finalizada
Fonte: Ito *et al.* (2018).



Figura 16 – Defletor do fluxo de minério
Fonte: Ito *et al.* (2018).



Figura 17 – Vista interna do tubo de alimentação
Fonte: Ito *et al.* (2018).



Figura 18 – Miscelâneas mecânicas
Fonte: Ito *et al.* (2018).

Durante a parada de manutenção de março de 2018, realizou-se a substituição de todo o conjunto de tubo de alimentação, substituindo-se pelo novo arranjo. Nas Figuras 19, 20 e 21 pode-se observar as etapas de montagem durante a parada do forno calcinador.



Figura 19 – Montagem em campo em 2018
Fonte: O autor (2021).



Figura 20 – Montagem do novo chute em 2018
Fonte: O autor (2021).



Figura 21 – Montagem do tubo de alimentação - Concluída
Fonte: O autor (2021).

Os novos chutes entraram em operação na primeira linha de alimentação em março de 2018 e na segunda linha em abril de 2019.

3.3 Coleta dos Dados

Foi realizada a coleta de dados a partir dos relatórios de produção cedido pela mineradora, contemplando um período de sessenta meses, de janeiro de 2016 a dezembro de 2020. Os tempos de parada são reportados diariamente nos relatórios de produção, que é alimentado manualmente pelos próprios operadores no Centro de Controle e Operação (CCO). A Figura 22 mostra a “interface” da planilha de reporte de produção dos calcinadores, de onde retirou-se os dados analisados.

Reporte de produção Calcinadores		Data:
		14/04/2021
Favor entrar a data desejada, teclar Enter e em seguida clicar em Obter Paradas!		
Data Inicial:	14/04/2021	Obter Paradas !
Data Final:	14/04/2021	Dado mais atual do histórico 14/04/21

Figura 22 – Planilha de reporte de produção dos calcinadores
Fonte: CCO da Mineradora (2021).

3.4 Tratamento dos Dados

O processamento de dados incluiu baixar o relatório do sistema da mineradora e organizar sistematicamente com o auxílio de uma planilha do software Microsoft Office: Excel[®]. Foi necessário estruturar todo o banco de dados de modo que apenas a variável “Entupimento de Chutes” pudesse ser analisada. O resultado do tratamento de dados é ilustrado na Figura 23.

TAG	Início	Final	Tempo de Parada	Grupo	Equipamento	Número de Equipamen	Motivo da parada	Observação
411-CH-001	0:40	0:48	0:08	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Limpeza no chute de alimentação
411-CH-001	0:58	1:01	0:03	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Limpeza no chute de alimentação
411-CH-001	22:28	22:36	0:08	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Limpeza no chute de alimentação
411-CH-001	23:59	0:09	0:10	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Limpeza no chute de alimentação
411-CH-001	5:08	5:18	0:10	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Limpeza no chute de alimentação
412-CH-001	8:32	8:42	0:10	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Limpeza no chute de alimentação
412-CH-001	11:09	11:14	0:05	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Limpeza no chute de alimentação
411-CH-001	16:18	16:26	0:08	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Limpeza no chute de alimentação
412-CH-001	19:34	19:40	0:06	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Limpeza no chute de alimentação
412-CH-001	21:58	22:03	0:05	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Limpeza no chute de alimentação
412-CH-001	2:32	2:39	0:07	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
412-CH-001	3:51	3:57	0:06	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
412-CH-001	8:10	8:18	0:08	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
411-CH-001	8:24	8:40	0:16	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
412-CH-001	14:44	14:47	0:03	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
412-CH-001	22:35	22:39	0:04	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
412-CH-001	1:37	1:50	0:13	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
412-CH-001	8:55	9:03	0:08	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
411-CH-001	9:10	9:12	0:02	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D304 - LIMPEZA / PARADAS OPERACIONAIS	Limpeza no chute de alimentação
412-CH-001	13:09	13:16	0:07	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
411-CH-001	14:36	14:43	0:07	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
412-CH-001	15:04	15:23	0:19	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
411-CH-001	15:23	15:30	0:07	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D304 - LIMPEZA / PARADAS OPERACIONAIS	Limpeza no chute de alimentação
412-CH-001	16:40	16:51	0:11	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D315 - DESOBSTRUÇÃO DUTO DE ALIMENTAÇÃO / R	Desobstrução do chute de alimentação
411-CH-001	16:54	17:01	0:07	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D304 - LIMPEZA / PARADAS OPERACIONAIS	Limpeza no chute de alimentação
412-CH-001	18:36	18:40	0:04	BACALC2	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 412-CH-001	6169	D304 - LIMPEZA / PARADAS OPERACIONAIS	Limpeza no chute de alimentação
411-CH-001	10:40	10:46	0:06	BACALC1	CHUT DE ALIMENTAÇÃO - 411-CH-001	6168	D304 - LIMPEZA / PARADAS OPERACIONAIS	Limpeza no chute de alimentação

Figura 23 – Dados obtidos dos relatórios da empresa
Fonte: O autor (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados coletados no CCO da mineradora, foi possível confeccionar o gráfico ilustrado na Figura 24, que apresenta a soma dos tempos de parada mensal, em horas, para cada um dos calcinadores em operação entre 2016 e 2020. Pode-se observar a melhora na produtividade dos calcinadores após a implementação dos novos modelos de chutes nas linhas de alimentação. É notável a redução de horas paradas não programadas nas linhas de produção, mesmo considerando o período chuvoso na região, quando comparado ao histórico anterior.

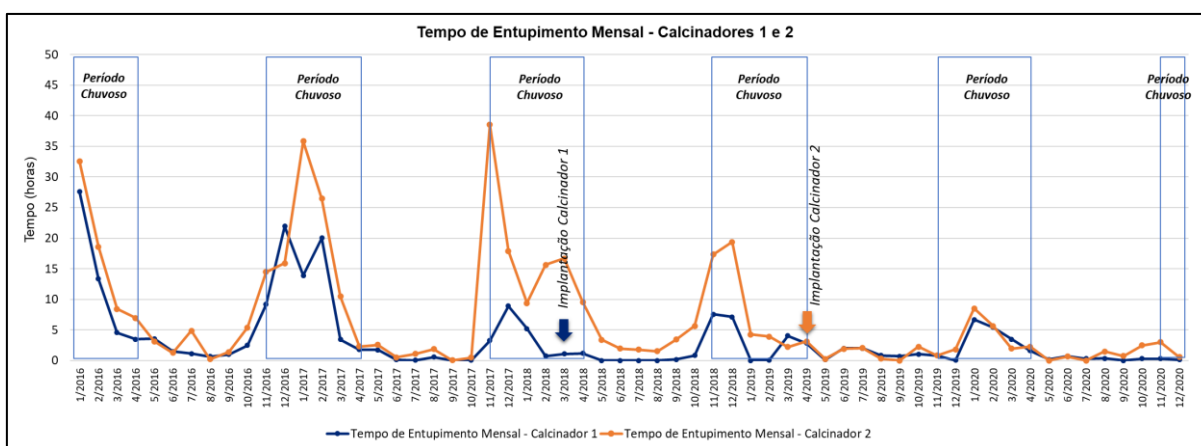


Figura 24 – Tempo de entupimentos mensal dos chutes de alimentação dos calcinadores
Fonte: O autor (2021).

Outro aspecto a ser considerado é o número total de horas trabalhadas pelos fornos calcinadores após a implantação dos novos chutes. O Quadro 1 mostra o histórico de horas produzidas pelo equipamento entre 2016 e 2020.

Horas Produzidas - Linha 1 e 2	2016	2017	2018	2019	2020
Total de Horas disponível do Equipamentos	17.520	17.520	17.520	17.520	17.520
Total de Horas de Paradas não programadas.	204	192	130	38	47
Horas Produzidas	17.316	17.328	17.390	17.482	17.473

Quadro 1 – Horas produzidas pelos fornos calcinadores 1 e 2 entre 2016 e 2020
Fonte: O autor (2021).

Segundo os dados apresentados, houve uma redução significativa do número de horas paradas dos calcinadores. Considerando que este indicador apresentava uma média histórica de

16 horas de paradas mensais, observou-se, durante o período de trinta e seis meses do estudo, uma média de 3,91 horas de paradas mensais relacionadas a entupimentos, uma diminuição de 75,6%, como mostrado na Figura 25.

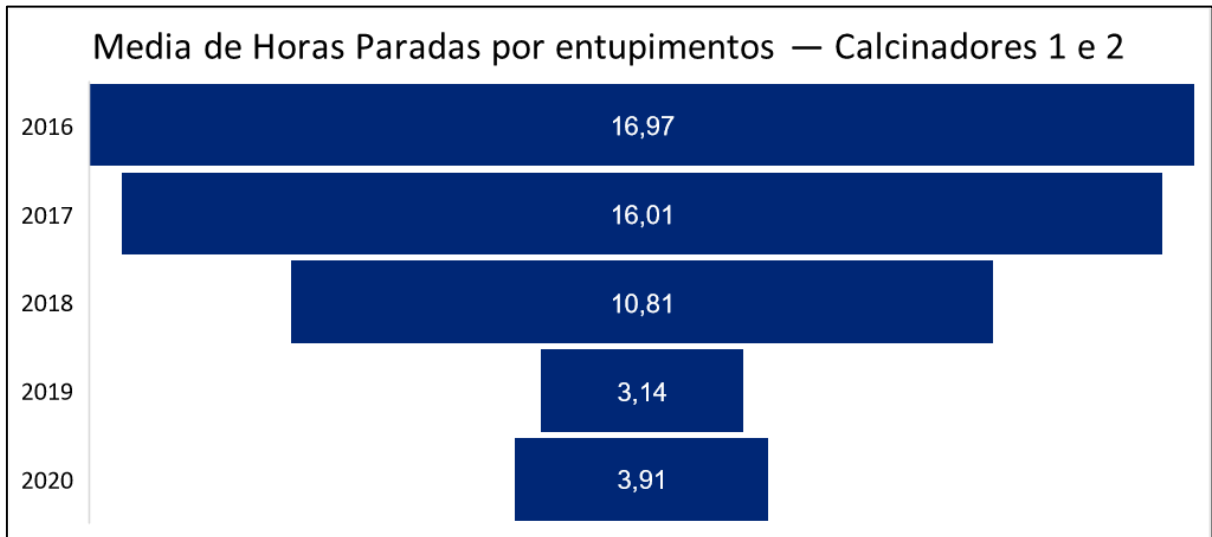


Figura 25 – Média de horas paradas por entupimentos no período entre 2016 e 2020
Fonte: O autor (2021).

Este resultado evidencia a importância de se realizar uma avaliação criteriosa no que tange a instalação de chutes de alimentação, conforme afirma Negris (2018). Estes resultados também corroboram com Swinderman *et al.* (2009), que afirma que o dimensionamento do chute deve ser influenciado por condições como a capacidade de transporte, as características do material manuseado, a inclinação do chute, o número de zonas de carregamento, entre outras. Com base nos resultados apresentados, pode-se dizer que o novo modelo de chutes levou mais variáveis em consideração, por isso, apresentou melhores resultados.

Portanto, confirmou-se a eficácia do plano de ação proposto, mas ainda há espaço para melhorias de modo a reduzir ainda mais o tempo de paradas.

5 CONCLUSÃO

Os chutes de transferência são equipamentos muito importantes durante o transporte de minério, e devem ter uma avaliação criteriosa durante estudos de engenharia de modo a evitar perda de produção.

O presente estudo teve como objetivo avaliar a eficácia dos novos chutes de alimentação dos calcinadores através do banco de dados fornecido pela mineradora. Foi necessário estruturar todo o banco de dados de modo que apenas a variável “Entupimento de Chutes” pudesse ser analisada.

Desta forma, obteve-se o histórico de dados de produção e conseguiu-se determinar que houve uma redução de 75,6% na média de horas de paradas mensais de produção devido a problemas de entupimento dos chutes de alimentação dos calcinadores. Este dado evidencia a eficácia dos novos chutes implementados na mineradora, comprova a hipótese inicial e explicita a necessidade de se fazer uma avaliação criteriosa quando se está realizando um projeto de instalação destes equipamentos em qualquer processo. Sendo assim, pode-se considerar que o objetivo do trabalho foi alcançado.

Acredita-se que aí está a importância deste trabalho, que demonstra, com dados, que um projeto de chutes de alimentação deve ser realizado de maneira analítica, para assim obter-se os melhores resultados possíveis. Hoje em dia, tem-se a possibilidade de utilizar *softwares* disponíveis no mercado como ferramentas para auxiliar este planejamento criterioso, ou mesmo contratar uma empresa especializada como a J&J.

Para pesquisas futuras, sugere-se considerar análises estatísticas dos dados para os demais equipamentos da linha de produção, considerando que a investigação obteve sucesso para os chutes de alimentação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKHIL PRASAD, S. Stress Analysis and Design Validation of Chute using DEM Software. **International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology**, [s. l.], 2020. Available at: <https://doi.org/10.32628/ijrsrset207415>

DOROSZUK, B.; KRÓL, R. Analysis of conveyor belt wear caused by material acceleration in transfer stations. **Mining Science**, [s. l.], v. 26, 2019. Available at: <https://doi.org/10.5277/msc192615>

ITO, Marcelo. *et al.* Chute de Alimentação dos Calcinadores - Estudo de Caso. **73º Congresso Anual da ABM – Internacional, parte integrante da ABM Week**, São Paulo, 02 Outubro 2018.

JENIKE & JOHANSON. **Recomendações de projeto funcional do chute de alimentação do Calcinador**. Jenike & Johanson. Vinhedo-SP, p. 12. 2016. (#70466-2).

LEONARD BARTON, D.A **Dual methodology for case studies: synergistic use of longitudinal single with replicated multiple sites**. Organization Science, v.1, 1190.

MIGUEL, P.A.C. *et al.* **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2ª edição, Rio de Janeiro, 2012.

NEGRIS, J. **Simulação do Fluxo de Material em Chute de Transferência Através do Método dos Elementos Discretos**. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, p. 50. 2018.

RUIZ, R.; MARIN, F. C.; MAZZINGHY, D. B. Manuseio e Estocagem de Minérios: Determinação das Propriedades de Escoamento Através de Testes em Escala de Laboratório. **44º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 15º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 2º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro**. Belo Horizonte, 2014.

SOUSA R. Case research in operations management. **EDEN Doctoral Seminar on Research Methodology in Operations Management**. Bruxelas, 2005.

SWINDERMAN, R. T. *et al.* **Foundations: Guia Prático para um Controle mais Limpo, Seguro e Produtivo de Pó e Material a Granel**. 4. ed. Neponset: Martin Engineering, 2009.