



FELIPE HENRIQUE LOPES GALENO

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO DE NÃO
CUMPRIMENTO DE PROGRAMAÇÃO DIÁRIA D+1**

Parauapebas, PA

2023

FELIPE HENRIQUE LOPES GALENO

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO DE NÃO
CUMPRIMENTO DE PROGRAMAÇÃO DIÁRIA D+1**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Sistemas Inteligentes com ênfase em ciência de dados.

Área de concentração: Estatística e análise de dados

Orientador: Gustavo Pessin

Parauapebas, PA

2023

Título: Proposta de Método Para Avaliação de Risco de Não Cumprimento de Programação Diária D+1

Classificação: () Confidencial () Restrita () Uso Interno (X) Pública

Informações Confidenciais - Informações estratégicas para o Instituto e sua Mantenedora. Seu manuseio é restrito a usuários previamente autorizados pelo Gestor da Informação.

Informações Restritas - Informação cujo conhecimento, manuseio e controle de acesso devem estar limitados a um grupo restrito de empregados que necessitam utilizá-la para exercer suas atividades profissionais.

Informações de Uso Interno - São informações destinadas à utilização interna por empregados e prestadores de serviço.

Informações Públicas - Informações que podem ser distribuídas ao público externo, o que, usualmente, é feito através dos canais corporativos apropriados.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação(CIP)

G152p

Galeno, Felipe Henrique Lopes

Proposta de método para avaliação de risco de não cumprimento de programação diária D+1. Felipe Henrique Lopes Galeno... [et al.] - Ouro Preto, MG: ITV, 2023.

50 p.: il.

Monografia (Especialização latu sensu) - Instituto Tecnológico Vale, 2023.
Orientador: Gustavo Pessin

1. Risco de Programação de Produção. 2. Mina de Minério de Ferro. 3. Dados históricos. 4. Gerenciamento de Risco. I. Pessin, Gustavo. II. Título.

CDD.23. ed. 629.892

Felipe Henrique Lopes Galeno

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE RISCO DE NÃO
CUMPRIMENTO DE PROGRAMAÇÃO D+1**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Sistemas Inteligentes: Ênfase em Ciência de Dados].

Orientador: Prof. D.Sc. Gustavo Pessin

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 21 de novembro de 2023 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. D.Sc. Gustavo Pessin
Orientador – Instituto Tecnológico Vale

Prof. D.Sc. Jodelson Aguiar Sabino
Membro externo – Vale

Prof. MSc. Jacó Dias Domingues
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale

Os Signatários declaram e concordam que a assinatura será efetuada em formato eletrônico. Os Signatários reconhecem a veracidade, autenticidade, integridade, validade e eficácia deste Documento e seus termos, nos termos do art. 219 do Código Civil, em formato eletrônico e/ou assinado pelas Partes por meio de certificados eletrônicos, ainda que sejam certificados eletrônicos não emitidos pela ICP-Brasil, nos termos do art. 10, § 2º, da Medida Provisória nº 2.200-2, de 24 de agosto de 2001 (“MP nº 2.200-2”).



PROTOCOLO DE ASSINATURA(S)

O documento acima foi proposto para assinatura digital na plataforma Portal de Assinaturas Vale. Para verificar as assinaturas clique no link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/D41E-C9CC-B689-BC8D> ou vá até o site <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> e utilize o código abaixo para verificar se este documento é válido. The above document was proposed for digital signature on the platform Portal de Assinaturas Vale . To check the signatures click on the link: <https://vale.portaldeassinaturas.com.br/Verificar/D41E-C9CC-B689-BC8D> or go to the Website <https://vale.portaldeassinaturas.com.br:443> and use the code below to verify that this document is valid.

Código para verificação: D41E-C9CC-B689-BC8D



Hash do Documento

728A0B8F25109C15BC6EDAED92EC2A3648C7EB5DDFC0EB6A12EBC7D4439410D

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 08/01/2024 é(são) :

- Jodelson Aguilar Sabino (Signatário) - 793.799.077-53 em 08/01/2024 13:30 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: jodelson.sabino@vale.com; Código de acesso: 1

Evidências

Client Timestamp Mon Jan 08 2024 13:30:43 GMT-0300 (Brasília Standard Time)

Geolocation Latitude: -20.2781023 Longitude: -40.2877897 Accuracy: 15.954

IP 177.157.151.1

Hash Evidências:

0CE36836647935799813847CC92FF91FAC601D8A89E7D57E1D7D13EFC1D27994

- GUSTAVO PESSIN (Signatário) - 939.084.900-49 em 08/01/2024 11:33 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: gustavo.pessin@itv.org; Código de acesso: 1

Evidências

Client Timestamp Mon Jan 08 2024 11:34:03 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -19.9589849 Longitude: -43.9341315 Accuracy: 3482.3935817756296

IP 187.114.55.6

Hash Evidências:

F7792628F097998EE15D2C0A36C7D25681AF88EE9158B27276BB31A1A9998F7B

- Jacó Dias Domingues (Signatário) - 112.250.696-10 em 08/01/2024 09:36 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: jaco.domingues@itv.org; Código de acesso: 1

Evidências

Client Timestamp Mon Jan 08 2024 09:36:18 GMT-0300 (Brasilia Standard Time)

Geolocation Latitude: -22.8997644 Longitude: -46.7940817 Accuracy: 19.12299919128418

IP 132.255.37.171

Hash Evidências:

CDA8072198208533D11106414B7B45FD4F58CE57BED811FC2698A1FD58FA73



Gostaria de dedicar este trabalho aos meus pais, que sempre me incentivaram a estudar, lembrando-me constantemente que "os estudos são o caminho para um futuro melhor". Também dedico à minha esposa, Francilene, que sempre me apoiou em meus estudos e cuidou de nosso pequeno Benício quando precisei me ausentar.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meu profundo agradecimento a Deus, em primeiro lugar, por me conceder saúde e sabedoria nos momentos mais desafiadores deste curso, permitindo-me tomar as melhores decisões. Em segundo lugar, desejo agradecer de todo o coração à minha família e amigos, que sempre acreditaram em mim e me incentivaram a estudar, seja de forma direta ou indireta.

Também gostaria de estender meus agradecimentos à Vale. Sou imensamente grato pela oportunidade de fazer parte dessa organização e pelo suporte que recebi ao longo do meu percurso acadêmico e profissional. Agradeço à Vale por valorizar o crescimento e desenvolvimento dos seus colaboradores, incentivando-me a buscar constantemente a excelência.

Além disso, gostaria de estender meus agradecimentos aos meus líderes e colegas de trabalho, cujo apoio e compreensão foram fundamentais para conciliar minhas responsabilidades profissionais com o meu compromisso de estudo.

A todos vocês, meu sincero reconhecimento e gratidão. Suas contribuições foram essenciais para minha jornada acadêmica e profissional.

"O sucesso da produção reside na capacidade de avaliar os riscos e antecipar os desafios que podem comprometer a programação de produção D+1.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo calcular o risco de uma programação de produção em uma mina de minério de ferro, com base em um histórico. Para atingir esse objetivo, são seguidos os seguintes passos: coleta dos dados históricos, análise dos dados, identificação dos fatores de risco, cálculo da probabilidade de ocorrência de eventos adversos, avaliação do impacto financeiro desses eventos e desenvolvimento de estratégias de gerenciamento de risco. A coleta dos dados históricos é fundamental para entender as condições operacionais passadas da mina, incluindo informações sobre horas trabalhadas, horas de manutenção, quantidade de equipamentos de transporte e produtividade horária. A análise desses dados permite identificar tendências, padrões sazonais e eventos excepcionais. Com base na análise dos dados históricos, são identificados os fatores que influenciam a produção da mina, tanto internos quanto externos. Esses fatores podem incluir problemas operacionais, manutenção inadequada, escassez de recursos, mudanças na demanda de mercado e eventos climáticos. A probabilidade de ocorrência de eventos adversos, como falhas de equipamentos, paradas não programadas ou problemas de produção, é calculada usando técnicas estatísticas. Em síntese, realizamos uma análise de dados históricos, utilizando métodos estatísticos para avaliar diversas premissas relacionadas à programação diária. Concluímos que é necessário ajustar várias dessas premissas, dado o baixo ou alto índice de probabilidade de cumprimento identificado.

Palavras-chave: Risco de programação de produção. Mina de minério de ferro. Dados históricos. Gerenciamento de risco.

Fase da Cadeia: Mina

ABSTRACT

This work aims to calculate the risk of a production schedule in an iron ore mine, based on history. To achieve this objective, the following steps are followed: collection of historical data, data analysis, identification of risk factors, calculation of the probability of adverse events occurring, assessment of the financial impact of these events and development of risk management strategies. Collecting historical data is essential to understanding the mine's past operating conditions, including information on hours worked, maintenance hours, quantity of transport equipment and hourly productivity. Analyzing this data allows you to identify trends, seasonal patterns and exceptional events. Based on the analysis of historical data, the factors that influence the mine's production, both internal and external, are identified. These factors can include operational problems, inadequate maintenance, resource shortages, changes in market demand and weather events. The probability of adverse events occurring, such as equipment failures, unscheduled downtime or production problems, is calculated using statistical techniques. In summary, we carried out an analysis of historical data, using statistical methods to evaluate several assumptions related to the daily schedule. We conclude that it is necessary to adjust several of these assumptions, given the low or high probability of compliance identified.

Keywords: Production scheduling risk. Iron ore mine. Historical data. Risk management.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma da programação D+1	22
Figura 2 - Visão geral da solução	25
Figura 3 - Tabela com a alocação de ativos de um plano pronto	27
Figura 4 - Tabela com a programação de alimentação e qualidade de cada mina	28
Figura 5- Análise de outliers das premissas de programação.....	32
Figura 6 - Mapa da mina de Serra Norte	35
Figura 7 - Gráfico de movimentação de mina	36
Figura 8 - Gráfico com média mensal da pluviometria de 2019 a 2022	36
Figura 9 - Segmentação da base de dados por período do ano.....	37
Figura 10- Probabilidade de cumprir VZ	38
Figura 11- Probabilidade de cumprir o TFC	39
Figura 12 - Gráfico de dispersão entre a movimentação de mina e pluviometria.	42
Figura 13 - Correlação entre as variáveis que sustentam a movimentação de mina	43
Figura 14- Gráfico de dispersão entre as variáveis de ag. Condição de acesso e pluviometria	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensionamento de caminhões por equipamento de carga	24
Tabela 2 - Correlação entre os indicadores que sustentam a PDT de transporte.....	41
Tabela 3 - Dashboard avaliação de premissas D+1	45

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Função de distribuição acumulada.....	39
Equação 2 - Função de sobrevivência	39

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

PDT – Produtividade
CM – Carga Média
VM – Velocidade Média
VZ – Velocidade Vazio
VC – Velocidade Cheio
DMT – Distância Média de Transporte
TF – Tempos Fixos
DF – Disponibilidade Física
UF – Utilização Física
TFC – Tempo de Fila no Carregamento
TFB – Tempo de Fila no Basculamento
TC – Tempo de Carregamento
TM – Tempo de Manobra
TB – Tempo de basculamento
HAO – Hora de Atraso Operacional
ESC – Escavadeira
CR – Carregadeira
CAM – Caminhão
CDF – Cumulative Distribution Function
SF – Survival function
PCP – Planejamento e controle da produção
M1 – Morro-1
IQR – Intervalo Interquartil

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Motivação para o trabalho.....	19
1.2	Objetivo Geral.....	19
1.2.1	Objetivos específicos:.....	19
1.3	Organização do trabalho.....	20
2	O ATUAL PROCESSO DE PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO	21
2.1	Atividades do Processo de Programação de Produção.....	21
2.1.1	Alocar Ativos e Recursos com Base na Programação D+7	24
2.1.2	Validar Capacidade Produtiva e Dimensionamento dos Equipamentos	24
2.1.3	Realizar o Sequenciamento Hora a Hora da Produção e dos Eventos Associados aos Ativos	24
2.1.4	Validar Programa de Produção com a Torre de Controle e Demais Áreas Envolvidas ..	26
2.1.5	Identificar Oportunidades de Paradas Estratégicas.....	26
2.1.6	Atuar como Cadeia de Ajuda na Gestão de Eventos	26
2.2	Objetivos do Processo de Programação de Produção	26
2.2.1	Desdobrar o Sequenciamento do D+1 com Base nas Restrições Operacionais e de Qualidade	26
2.2.2	Alocar Ativos e Recursos de Forma Eficiente.....	27
2.1.3	Validar Capacidade Produtiva e Dimensionamento dos Equipamentos	27
2.1.4	Garantir a Qualidade dos Produtos	28
2.3	Principais falhas e gargalos do processo de programação D+1.....	28
2.3.1	As falhas comuns	28
2.3.2	Falhas sistemáticas.....	29
2.3.3	Falhas aleatórias.....	29
3	REFERENCIAL TEÓRICO	30
3.1	Avaliação de risco na programação de produção	30
3.2	Técnicas de análise de dados e modelagem estatística.....	31
3.3	Estratégias de gerenciamento de risco na programação de produção.....	33
4	METODOLOGIA	35
4.1	Obtenção e tratamento de dados	35
4.2	Processo de cálculo de probabilidade.....	38
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1	Análise exploratória dos dados	41
5.2	Identificação de fatores de risco	43

5.3	Cálculo da probabilidade de eventos adversos.....	44
5.4	Estratégias de gerenciamento de risco e geração de valor	45
5.5	Limitações e considerações.....	46
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	47
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
	REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO

Com o progresso dos avanços industriais, torna-se imperativo o planejamento e controle das atividades produtivas de uma organização. Em um cenário competitivo, aquelas empresas que conseguem alcançar e superar suas metas e objetivos estão em vantagem em relação às organizações que não conseguem atingir os resultados desejados. Além disso, destacam-se também em comparação com aquelas empresas que não colocam o planejamento e controle como princípios fundamentais de sua base administrativa (CHIAVENATO, 2011).

De acordo com o artigo “Análise de risco: veja como fazer, quais situações utilizar e importância para empresas e projetos” do site PontoTel (Redator PontoTel, 2023), a análise de risco é uma área de estudo amplamente reconhecida e aplicada em diversos setores industriais, incluindo a indústria de mineração.

A utilização de dados históricos para avaliar o risco em operações de minas tem se mostrado uma abordagem eficaz para compreender padrões operacionais, identificar fatores de risco e antecipar eventos adversos. Através da análise exploratória de dados, técnicas estatísticas e modelagem financeira, pesquisadores e profissionais têm obtido ideias valiosas para o desenvolvimento de estratégias de gerenciamento de risco conforme o artigo "Mineração de dados: o que é, importância e ferramentas" do site TOTVS (Equipe TOTVS, 2022).

O Planejamento e Controle de Produção (PCP) emerge como uma ferramenta para conquistar eficiência e eficácia no processo produtivo. Esta importância decorre do fato de que o PCP assume a responsabilidade de gerenciar um conjunto de informações fundamentais, obtidas através de quatro perguntas fundamentais: o que, como, quando e quanto fabricar (RUSSOMANO, 2000).

De acordo com Oliveira (2014) citado por Montor e Bertaci (2022) o planejamento e controle de produção possuem três níveis hierárquicos, e esses contribuem para o funcionamento da organização, prevenindo déficits nas medidas de desempenho, tomadas de decisões equivocadas e evitando a demora na adoção de novas posturas produtivas.

1. **Nível Estratégico:** Neste nível, o PCP delineia um planejamento e políticas estratégicas a longo prazo para a empresa, caracterizando-se como o Planejamento Estratégico de Produção.
2. **Nível Tático:** Caracterizado pelo planejamento de planos a médio prazo, é neste nível que se desenvolve o Plano Mestre de Produção.

3. **Nível Operacional:** Distinto pelos programas de produção de curto prazo, este é o momento em que o PCP trabalha com a Produção Programada e executa o Acompanhamento e Controle dos processos.

Neste contexto, a programação de produção para o dia seguinte (D+1) está integrada ao nível operacional. O processo de sequenciamento da mina e usina de Serra Norte realiza a programação de curtíssimo prazo para o próximo dia, concentrando-se nas atividades operacionais. Isso é feito com uma abordagem detalhada, proporcionando uma visão minuciosa, hora a hora, dos procedimentos tanto na mina quanto na usina.

1.1 Motivação para o trabalho

Este trabalho surge da necessidade de aprimorar a eficiência na programação de produção diária D+1 da mina de Serra Norte, com ênfase na fase de mina do processo produtivo.

(MONTOR; BERTACI, 2020) afirmam que o Planejamento e Controle de Produção (PCP) é uma das principais funções da administração, sendo crucial para estabelecer metas, atingir objetivos e integrar os setores organizacionais, estabelecendo cronogramas e coordenando o sistema produtivo, possibilitando assim que todas as necessidades da empresa sejam atendidas.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo principal desta pesquisa é desenvolver uma metodologia de análise de risco que auxilie na programação de produção de uma mina de minério de ferro, utilizando dados históricos como base para identificar, avaliar e gerenciar os riscos de cumprimento de cada premissa.

1.2.1 Objetivos específicos:

- Coletar e consolidar dados históricos relacionados às condições operacionais da mina, como horas trabalhadas, manutenção, produtividade e outros indicadores relevantes;
- Realizar uma análise detalhada dos dados históricos, utilizando técnicas de visualização e estatística para identificar padrões, tendências e fatores de risco potenciais;

- Propor um método para calcular a probabilidade de cumprir cada premissa da programação diária D+1;
- Avaliar o impacto financeiro dos eventos adversos e sua influência na programação de produção da mina.

1.3 Organização do trabalho

O primeiro capítulo introduz o tema da avaliação de risco na programação diária de produção (D+1), delineando objetivos gerais e específicos, além de destacar a motivação para o trabalho. O segundo capítulo oferece uma breve descrição e apresentação do processo atual de programação do D+1. No terceiro capítulo, são abordados aspectos teóricos relacionados à pesquisa de avaliação de risco na programação, embasados em publicações técnicas e científicas. O quarto capítulo apresenta o estudo de caso e a metodologia empregada. Finalmente, o quinto capítulo traz os resultados da pesquisa.

2 O ATUAL PROCESSO DE PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO

Neste capítulo, abordaremos o atual processo de programação de produção adotado pela empresa Vale na mina de Serra Norte, localizada em Carajás-PA. O objetivo principal é garantir o funcionamento eficiente e coordenado de todas as atividades de produção da empresa.

Chiavenato (2014, p,138) conceitua o PCP como uma ferramenta que “planeja e programa a produção e as operações da empresa, bem como as controla adequadamente para tirar o melhor proveito possível em termos de eficiência e eficácia”.

A produção é o fenômeno mais importante de uma empresa. É a finalidade de sua existência, pois toda empresa existe para produzir algo ou prestar algum tipo de serviço que satisfaça as necessidades e desejos dos clientes e consumidores (CHIAVENATO, 2014).

Apresentaremos os principais objetivos, atividades e responsabilidades envolvidas nesse processo.

2.1 Atividades do Processo de Programação de Produção

Para alcançar os objetivos estabelecidos, o processo de programação de produção realiza uma reunião diária com duração de 3 horas e 30 minutos. Nessa reunião, uma equipe multidisciplinar participa, englobando membros das áreas de operação de mina, planejamento de mina, operação de terraplanagem, perfuração e desmonte, redes e linhas (responsáveis pelas atividades elétricas), operação de usina nas fases de britagens e classificação, além das equipes de manutenção de transporte e carga, e de manutenção de usina.

Na

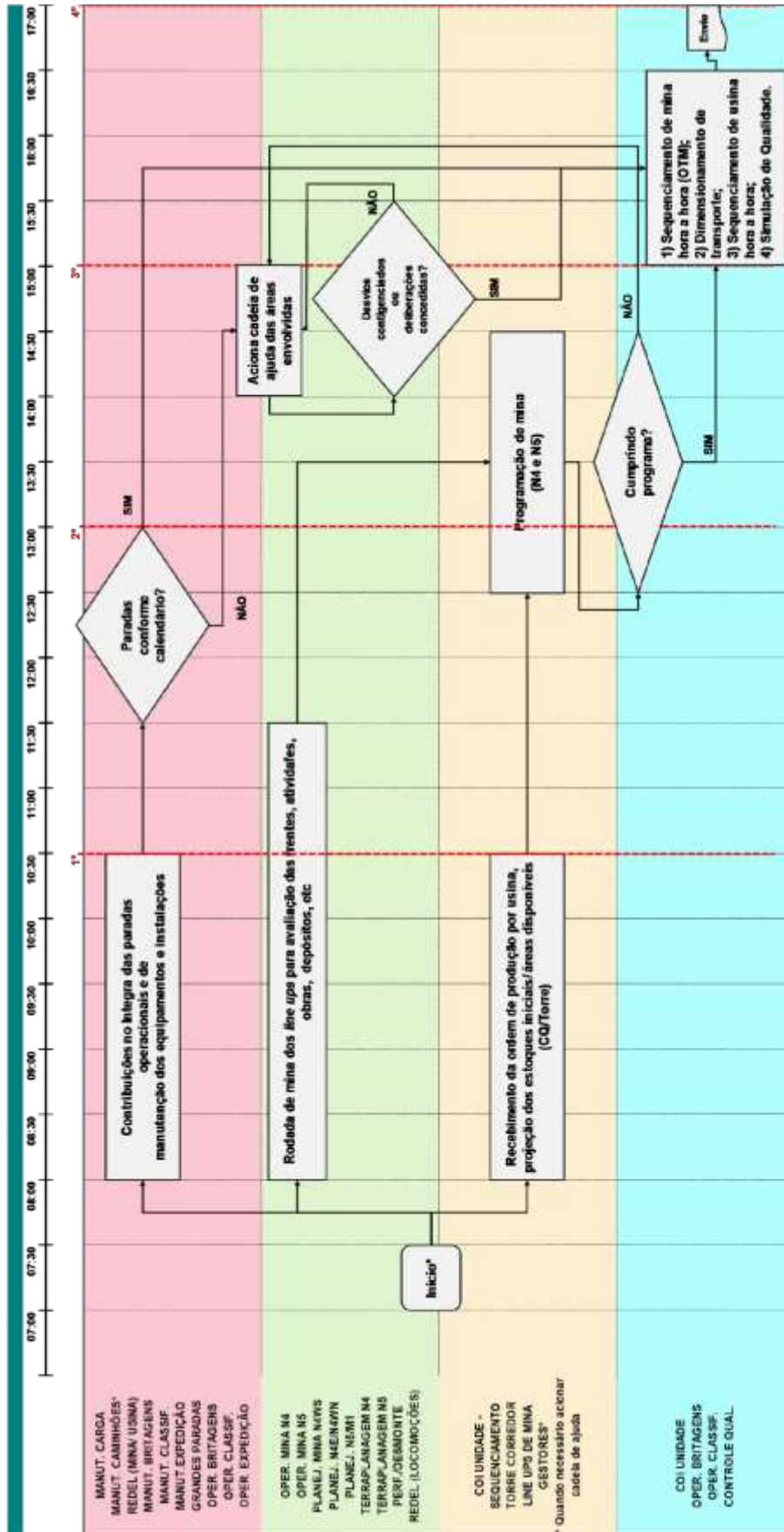
Figura 1 é possível visualizar o fluxograma da programação de produção D+1 com as áreas responsáveis por cada contribuição e os seus respectivos horários.

Figura 1 - Fluxograma da programação D+1



**FLUXO DE PROGRAMAÇÃO D-1 (PROCESSO DE CONSTRUÇÃO E CADEIA DE AJUDA)
CORREDOR NORTE | COI UNIDADE CARAJÁS**

Revisão 06



Fonte: Criação própria.

2.1.1 Alocar Ativos e Recursos com Base na Programação D+7

A equipe responsável pela programação utiliza como base a programação D+7 para alocar os ativos e recursos necessários para o dia seguinte, garantindo que tudo esteja pronto para a execução das atividades.

2.2.2 Validar Capacidade Produtiva e Dimensionamento dos Equipamentos

A capacidade produtiva e o dimensionamento dos equipamentos são cuidadosamente analisados e validados para garantir que a empresa esteja preparada para atender à demanda prevista.

Na Tabela 1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é possível analisar a quantidade de caminhões programados por porte para cada equipamento de carregamento.

Tabela 1 - Dimensionamento de caminhões por equipamento de carga

4.3) DIMENSIONAMENTO							
EQUIP.	CARGA MÉDIA (t)	DMT (km)	Nº CAMINHÕES*				MÉDIA DIA
			100st	240st	400st	320st	
901	326,4	4,94	0	0	3	5	7
902	318,5	3,53	0	1	3	2	6
903	-	-	0	0	0	0	-
904	317,3	3,75	0	1	4	2	6
905	327,2	3,62	0	1	4	2	7
906	-	-	0	0	0	0	-
907	317,3	3,74	0	1	2	2	4
1302	-	-	0	0	0	0	-
2004	-	-	0	0	0	0	-
2005	-	-	0	0	0	0	-
2006	304,3	4,04	0	0	0	3	3
2007	-	-	0	0	0	0	-
2008	228,2	3,59	0	0	0	6	6
2009	262,8	4,89	0	3	0	2	5
2010	322,6	4,01	0	1	3	1	6
1001	-	-	0	0	0	0	-
1002	279,7	5,87	0	2	1	1	4

Fonte: Programação de produção de Serra Norte do dia 01/11/23.

2.1.3 Realizar o Sequenciamento Hora a Hora da Produção e dos Eventos Associados aos Ativos

O sequenciamento detalhado das atividades é realizado hora a hora, levando em consideração todos os eventos associados aos ativos envolvidos no processo. Essa

abordagem proporciona uma visão precisa de como as atividades devem ser executadas ao longo do dia, resultando em um planejamento eficiente.

Outra característica importante do PCP é o controle. Através dele a produção é verificada e acompanhada como forma de evitar erros e desvios que possam comprometer a produtividade e o desempenho da organização, melhorando continuamente os processos para que os erros não se repitam (CHIAVENATO, 2014).

Para atingir esse nível de precisão, utilizamos um sistema de otimização desenvolvido em parceria com a Accenture e a Vale S.A. Inicialmente, elaboramos uma programação prévia do dia em uma planilha do Excel. Em seguida, essa programação é carregada no sistema da Vale GPVM, que se conecta ao sistema otimizador de mina e usina D+1. Através desse sistema, é possível realizar a otimização do plano de mina e usina para o dia seguinte (D+1).

Neste contexto, um sistema de otimização obtém dados de entrada por meio de planilhas, realizar a otimização com base nessas entradas e escrever os dados de saída em relatórios. Respeitando todas as restrições impostas pelo problema e objetivando a maximização dos benefícios, o otimizador explora as possibilidades possíveis de forma a apresentar a melhor solução para o usuário de maneira ágil, amarrando todos os processos (planejamento, operação, manutenção) em um plano mais eficiente para o D+1.

Através dos relatórios resultantes da otimização, a equipe especialista da Vale tem uma atuação com viés altamente analítico, experimentando novas configurações e realizando os ajustes que consideram necessários para finalmente validar o plano ótimo.

Figura 2 - Visão geral da solução



Fonte: Criação própria.

Essa integração entre os sistemas de planejamento e otimização permite que sejam considerados diversos cenários e variáveis, levando em conta as características específicas da mina e da usina. Dessa forma, podemos tomar decisões mais assertivas e maximizar a eficiência operacional, alcançando os objetivos de produção de forma otimizada.

2.1.4 Validar Programa de Produção com a Torre de Controle e Demais Áreas Envolvidas

O programa de produção é validado em conjunto com a Torre de Controle e outras áreas envolvidas, garantindo a colaboração e o alinhamento de todas as partes interessadas.

2.1.5 Identificar Oportunidades de Paradas Estratégicas

São identificadas oportunidades de paradas estratégicas para minimizar os impactos entre as fases do processo produtivo, otimizando a eficiência geral da produção.

2.1.6 Atuar como Cadeia de Ajuda na Gestão de Eventos

O processo de programação de produção também atua como uma cadeia de ajuda na gestão de eventos, proporcionando suporte e medidas corretivas em caso de imprevistos ou problemas durante a execução do plano de produção.

2.2 Objetivos do Processo de Programação de Produção

O processo de programação de produção desempenha um papel fundamental na garantia de que a empresa alcance seus objetivos de produção de maneira eficaz e competitiva. De acordo com Fernandes e Filho (2017), o PCP é um elemento importante para uma gestão eficiente e para a tomada de decisão, pois por intermédio dele as atividades desempenhadas pelo setor de produção são monitoradas. Desde o planejamento da matéria prima, da carteira de pedidos, do tempo de processamento, da capacidade instalada, do roteiro e fabricação até o acompanhando da qualidade, dos níveis de produção e estoque, durante todo o processo. Os principais objetivos desse processo incluem:

2.2.1 Desdobrar o Sequenciamento do D+1 com Base nas Restrições Operacionais e de Qualidade

Um dos principais objetivos do processo é realizar o sequenciamento das atividades para o dia seguinte, conhecido como D+1, levando em consideração todas as

restrições operacionais e de qualidade necessárias. Isso permite que a empresa se prepare antecipadamente, minimizando possíveis problemas e gargalos no processo produtivo.

2.2.2 Alocar Ativos e Recursos de Forma Eficiente

A alocação adequada de ativos e recursos é essencial para garantir que todas as operações possam ser realizadas conforme o planejado. Slack (2009), define o PCP como a atividade de se decidir sobre a alocação adequada dos recursos no processo produtivo, conciliando o que o mercado deseja com o que a empresa pode oferecer (demanda e oferta).

O processo de programação utiliza como base a programação D+7 para garantir que os recursos necessários estejam disponíveis no momento certo, evitando atrasos e desperdícios.

A Figura 3 a seguir exemplifica a programação diária de uma das cavas de Serra Norte (M1), destacando os locais onde os equipamentos têm programação para operar, indicados na coluna de origem. Além disso, são apresentados os indicadores de DF (Disponibilidade Física), UF (Utilização de Física) e Produtividade planejados para esse dia.

Figura 3 - Tabela com a alocação de ativos de um plano pronto

Equipamento	Material	Origem	Destino	DF	UF	Produtividade	Producao
901	Estéril	M1-520-CV1-S-A	DEP-NSW-520	87,5%	14,5%	3.889	11.831
901	Minério	M1-520-CV1-S-A	BRIT-REP6	87,5%	19,1%	3.889	15.595
901	Minério	M1-520-CV1-S-A	BSM7	87,5%	27,6%	3.889	22.510
901	Minério	M1-520-CV1-S-A	BRIT-REP2	87,5%	19,9%	3.889	16.262
901	Minério	M1-520-CV1-S-A	BRIT	87,5%	2,1%	3.889	1.697
8105	Minério	M1-520-CV1-S-A	BRIT-REP2	66,7%	15,4%	1.997	4.918
8105	Minério	M1-520-CV1-S-A	BRIT-REP6	66,7%	24,1%	1.997	7.710
8105	Minério	M1-RET-ARMAC	BSM7	66,7%	28,8%	1.997	9.213
8105	Minério	M1-520-CV1-S-A	BSM7	66,7%	12,9%	1.997	4.133
8106	Estéril	M1-505-CV1-N-A	DEP-NSW-570	79,4%	81,4%	1.882	29.191
8108	OM-ROM-ESTOCADO	M1-445-CV1-S-A	PUL-M1-BSM7	88,9%	47,1%	2.089	20.963
M1	Canga						0
	OM-ROM-ESTOCADO						20.963
	Remanejo						0
	Estéril						41.022
	Minério						82.037
	OM						0
	OM-Forro						0
Estéril-Forro						0	
Mov. Total						144.022	

Fonte: Programação de produção de Serra Norte do dia 01/11/23.

2.1.3 Validar Capacidade Produtiva e Dimensionamento dos Equipamentos

A validação da capacidade produtiva e do dimensionamento dos equipamentos é realizada para assegurar que a empresa tenha os recursos adequados para atender à

demanda de produção. Essa análise é fundamental para evitar sobrecargas ou subutilizações, garantindo uma produção equilibrada e eficiente.

2.1.4 Garantir a Qualidade dos Produtos

O processo de programação também inclui simulações de massa e qualidade, a fim de garantir que todas as decisões de sequenciamento não comprometam a qualidade dos produtos. Isso é essencial para manter a satisfação dos clientes e a reputação da empresa no mercado.

Na Figura 4 é possível ver o resultado da programação de qualidade já simulada, onde é possível ver a massa prevista de alimentação de cada mina e suas respectivas qualidades e contaminantes.

Figura 4 - Tabela com a programação de alimentação e qualidade de cada mina

Cavas	Massa	Fe	SiO2	P	Al2O3	Mn	PPC
N5S	26.981	66,39	1,60	0,188	0,93	0,131	2,06
N5W	0						
N5E	104.060	63,81	2,18	0,067	2,57	0,864	2,82
M1	82.037	68,22	0,85	0,020	0,37	0,000	0,68
N4E	12.808	64,89	3,50	0,023	1,52	0,235	0,96
N4WS	115.911	64,47	4,33	0,215	1,13	0,212	1,64
N4WN	0						
DESCIDA DE PRODUTO 12F	0	0,00	0,00	0,000	0,00	0,000	0,00
QUALIDADE ROM USINA 1	174.650	65,19	1,94	0,064	1,80	0,545	2,11
QUALIDADE PRODUÇÃO SF2	152.649	65,19	1,94	0,064	1,80	0,545	2,11
QUALIDADE PRODUÇÃO NPCJ	0	63,23	2,81	0,074	2,70	1,193	2,79
QUALIDADE PRODUÇÃO PF	16.001	64,54	1,77	0,069	2,09	0,452	2,41
QUALIDADE SF USINA 2	115.911	64,47	4,33	0,215	1,13	0,212	1,64
QUALIDADE SF/DESCIDA USINA 3	51.235	67,80	0,89	0,054	0,56	0,026	0,94
QUALIDADE RETOMADA PILHA PEBBLE	6.000	54,52	13,94	0,076	3,03	0,294	4,09
QUALIDADE SF/DESCIDA USINA 1 e 3 (INCLUINDO SF3)	209.884	65,52	2,03	0,062	1,53	0,411	1,88

Fonte: Programação de produção de Serra Norte do dia 01/11/23.

2.3 Principais falhas e gargalos do processo de programação D+1

2.3.1 As falhas comuns

É comum programarmos uma máquina para lavar minério e estéril ao longo do dia, hora a hora, devido à equipe de planejamento de mina não conseguir determinar com precisão o momento exato em que a máquina vai lavar uma litologia específica. Como resultado, é frequente que, no dia seguinte, a máquina apresente déficits de minério ou estéril em alguns períodos do dia.

2.3.2 Falhas sistemáticas

Frequentemente, encontramos falhas nas programações de indicadores de transporte, devido ao uso de indicadores mensais que não são atualizados conforme necessário. Esses indicadores veem do plano mensal e não possuem embasamento em estudos técnicos estatísticos que justifiquem sua inclusão no plano, tornando desafiador alcançar objetivos diários. Isso nos obriga a trabalhar incessantemente para reduzir indicadores dependentes de otimização, como a DMT, ociosidade de máquinas e filas de carregamento e basculamento.

Maximização de massa com redução de ociosidade antes da análise dos indicadores de carga. O melhor seria buscar primeiro os indicadores de carga pretendidos para depois, caso seja necessário, buscar maximizar a massa reduzindo a ociosidade, já que no campo os indicadores de carga são independentes da massa programada, ou seja serão executados de acordo com situação da frente de lavra e da máquina e não da necessidade de realizar determinado valor de movimentação.

Maximização dos indicadores de carga e transporte sem discursão e/ou indicação de ações que sustentam aquele indicador. Acontece quando tem uma tentativa de buscar uma massa maior do que o equipamento está executando sem indicar quais ações ou estratégias serão adotadas para alcançar aquela meta.

2.3.3 Falhas aleatórias

Algumas falhas aleatórias da programação de produção incluem as quebras de equipamentos de carregamento, transporte e equipamentos auxiliares de lavra, que exigem manutenção corretiva. Além disso, podem ocorrer atrasos na liberação da manutenção preventiva dos equipamentos da mina, bem como eventos climáticos imprevistos.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Macêdo (2016), o planejamento estratégico surgiu com a Revolução Industrial devido à competição no mercado de commodities e se intensificou no século XX a partir da estratégia de produção em massa liderada por Henry Ford. No âmbito acadêmico, é possível notar o interesse pela área a partir de 1912, por meio da universidade de Harvard com a Cadeira de Teoria dos Negócios (MACÊDO, 2016).

Os assuntos abordados nesse trabalho envolvem conceitos de estatística e probabilidade.

3.1 Avaliação de risco na programação de produção

De acordo com Borges (2023) realizar a Análise Qualitativa dos Riscos é o processo de priorização de riscos individuais do projeto para análise, através da avaliação de sua probabilidade e impacto de ocorrência, assim como outras características. O principal benefício deste processo é a concentração dos esforços em riscos de alta prioridade. Este processo é realizado ao longo do projeto.

O objetivo principal é identificar e quantificar os riscos envolvidos na programação de produção, permitindo a tomada de decisões mais informadas e a implementação de estratégias de gerenciamento de risco adequadas.

De acordo com Queiroz (2022), muitos gestores e diretores cometem o pecado de não utilizar os dados coletados em suas próprias empresas ao escolherem ferramentas para identificar e tratar Riscos e Oportunidades, seja por falta de disponibilidade desses dados ou por excessiva confiança na memória.

Diversas abordagens têm sido propostas para avaliar o risco na programação de produção. Uma delas é a análise de dados históricos, que envolve a coleta e análise de informações passadas sobre a operação da mina, como horas trabalhadas, produtividade e ocorrência de eventos adversos. Esses dados são explorados para identificar tendências, padrões e fatores de risco que possam afetar a produção.

Segundo Queiroz (2022), é essencial não apenas coletar os dados, mas também utilizá-los de maneira efetiva. Infelizmente, muitos empresários tendem a negligenciar os dados históricos armazenados em seus computadores, os quais poderiam oferecer uma avaliação mais clara dos Riscos e Oportunidades. Caso esses dados fossem

adequadamente aproveitados, seriam capazes de embasar ações focadas, conduzindo a resultados mais rápidos e assertivos.

Borges (2023) explica que o processo Realizar a Análise Qualitativa dos Riscos tem como objetivo avaliar a prioridade dos riscos individuais identificados em um projeto. Essa avaliação é realizada considerando as probabilidades de ocorrência dos riscos e o impacto correspondente que podem ter sobre os objetivos do projeto, além de levar em conta outros fatores.

3.2 Técnicas de análise de dados e modelagem estatística

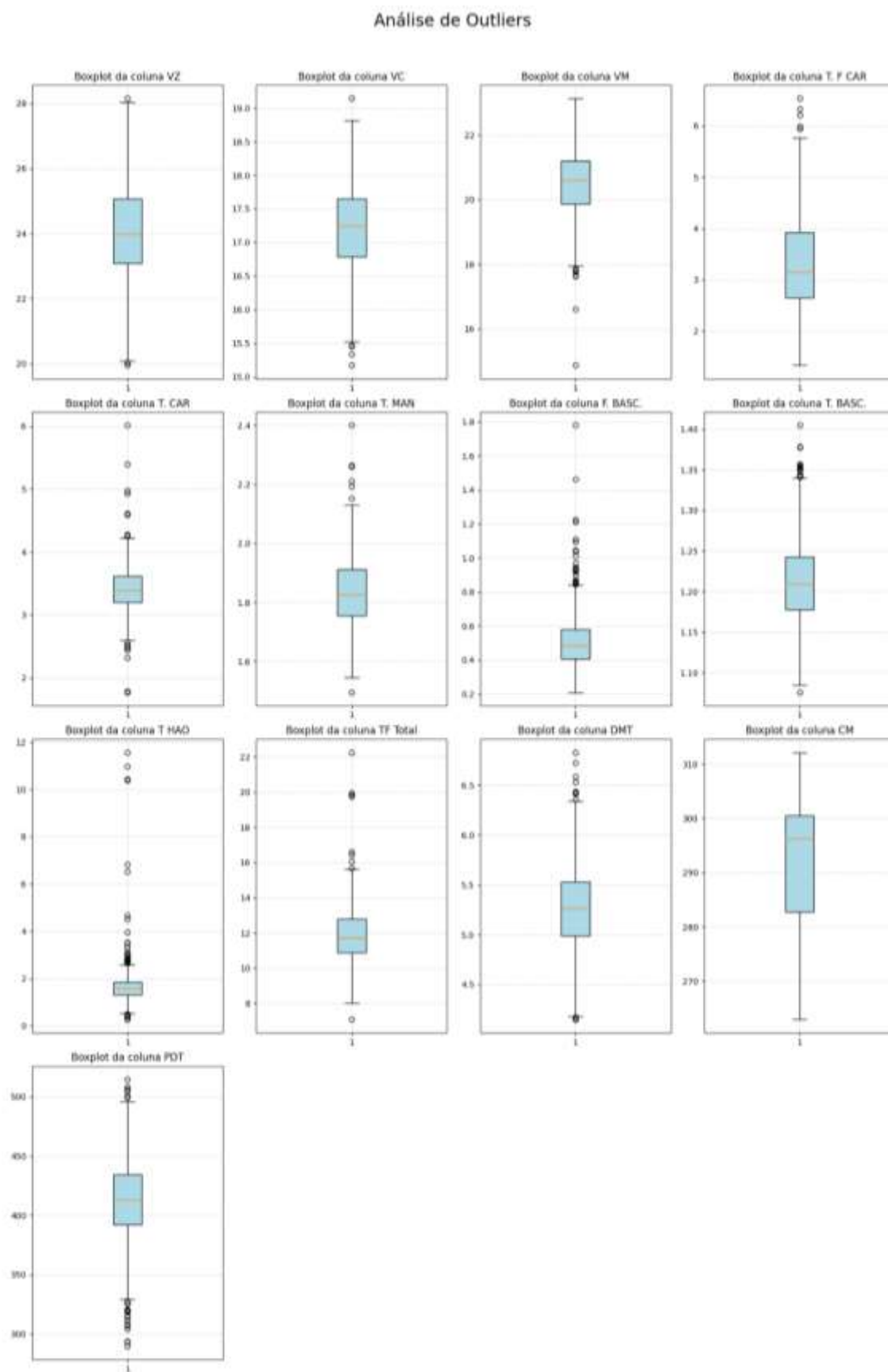
No contexto da avaliação de risco na programação de produção, técnicas de análise de dados e modelagem estatística desempenham um papel fundamental. A análise exploratória de dados é utilizada para identificar padrões, tendências sazonais e outliers nos dados históricos da mina.

Foi feita uma análise dos outliers com base nos dados históricos, para calcular os limites inferior e superior para identificação de outliers na base de dados é utiliza a técnica conhecida como Intervalo Interquartil (IQR), que é uma medida estatística que descreve a dispersão dos dados. É utilizada a biblioteca NumPy para calcular os percentis 25 (Q1) e 75 (Q3) da coluna fornecida como entrada. O Q1 representa o valor abaixo do qual 25% dos dados estão localizados, e Q3 representa o valor abaixo do qual 75% dos dados estão localizados.

O IQR é calculado como a diferença entre Q3 e Q1: $IQR = Q3 - Q1$.

Na Figura 5 é apresentado uma análise de outliers feito em cima dos dados históricos.

Figura 5- Análise de outliers das premissas de programação



Fonte: Criação própria.

De acordo com Queiroz (2022), a utilização de sistemas integrados inteligentes, que contêm dados estatísticos e tendências, possibilita uma identificação mais precisa dos Riscos e Oportunidades. Esses sistemas orientam a empresa a concentrar seus esforços nas áreas relevantes para promover a tão almejada "Melhoria Contínua", permitindo que sua equipe alcance esse objetivo de forma mais efetiva.

3.3 Estratégias de gerenciamento de risco na programação de produção

Uma vez que o risco na programação de produção é avaliado, estratégias de gerenciamento de risco são desenvolvidas e implementadas para mitigar os impactos negativos dos eventos adversos. Essas estratégias podem incluir a definição de planos de contingência, o estabelecimento de protocolos de manutenção preventiva e a alocação adequada de recursos.

De acordo com Borges (2023), "Planejar o Gerenciamento dos Riscos é o processo de definição de como conduzir as atividades de gerenciamento dos riscos de um projeto. O principal benefício deste processo é garantir que o grau, o tipo e a visibilidade do gerenciamento dos riscos sejam proporcionais tanto aos riscos como à importância do projeto para a organização e para as outras partes interessadas."

Segundo Proença e Tubino (2010), a implementação do monitoramento em tempo real da produção via cálculo do OEE (Overall Equipment Effectiveness ou Eficácia Global dos Equipamentos) desempenhou um papel crucial ao identificar os pontos onde ocorriam desperdícios. Esse método permitiu a criação de ações de melhoria mais eficazes, contribuindo assim para a otimização dos processos de produção.

Em resumo, o estado da arte na avaliação de risco na programação de produção envolve a utilização de técnicas de análise de dados, modelagem estatística e estratégias de gerenciamento de risco. A combinação dessas abordagens permite uma compreensão mais aprofundada dos fatores de risco, a quantificação da probabilidade de ocorrência de eventos adversos e o desenvolvimento de estratégias adequadas para a programação de produção de uma mina de minério de ferro.

Aqui estão algumas citações de especialistas renomados sobre o assunto abordado:

"A estatística é a ciência que lida com a coleta, classificação, análise e interpretação de dados, e a formulação de conclusões baseadas nesses dados."
- Ronald Fisher, estatístico e geneticista britânico.

"A probabilidade é a medida numérica da chance de um evento ocorrer." -
George Boole, matemático e lógico inglês.

"A estatística é a única ciência que nos permite tirar conclusões a partir de dados incompletos ou imperfeitos." - Robert W. Gould, estatístico americano.

"A estatística pode ser usada para dizer qualquer coisa sobre qualquer coisa, mas é preciso ter cuidado ao interpretar os resultados." - Michael J. Fox, ator e ativista canadense.

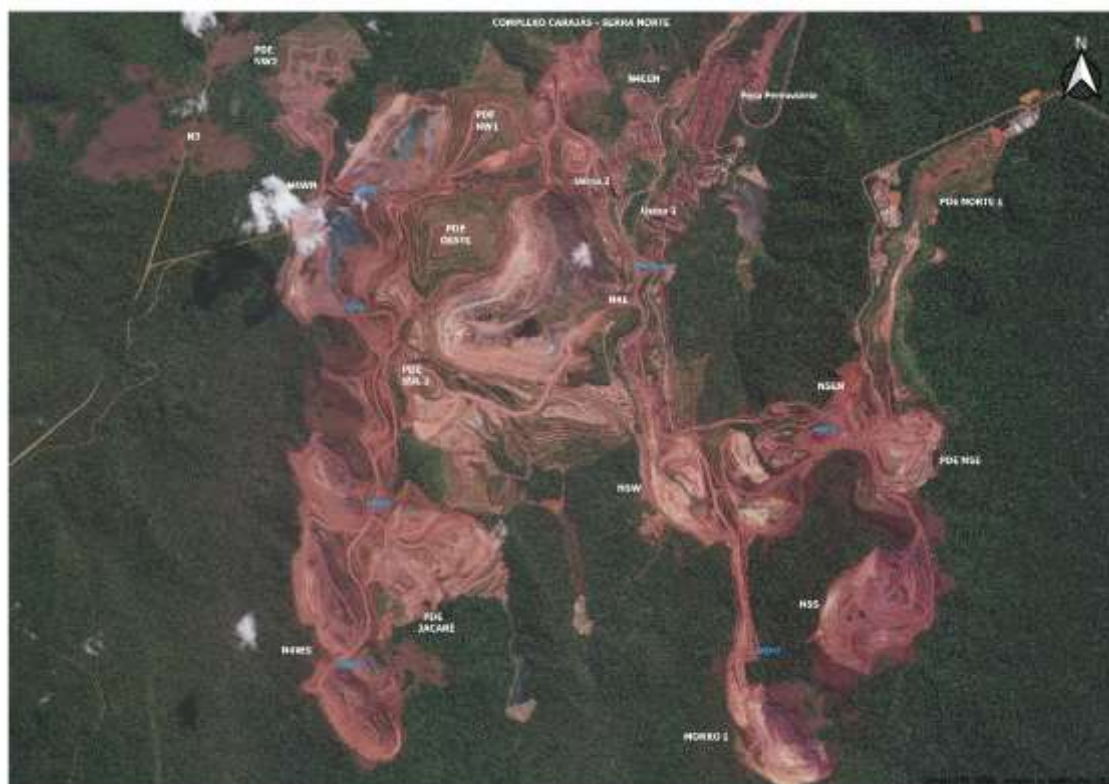
Essas citações destacam a importância da estatística e da probabilidade na análise de dados e na tomada de decisões. Elas também ressaltam a necessidade de usar essas ferramentas com cuidado e com a compreensão adequada dos conceitos envolvidos.

4 METODOLOGIA

Este trabalho constitui um estudo de caso da mina de Serra Norte, operada pela mineradora Vale S.A., amplamente reconhecida como Carajás, situada em Parauapebas, Pará. A análise de dados e os resultados apresentados fundamentam-se em uma amostra compilada durante o período compreendido entre janeiro de 2021 e setembro de 2023.

Abaixo na Figura 6 o mapa da mina de Serra Norte, essa imagem foi feita em 2022.

Figura 6 - Mapa da mina de Serra Norte



Fonte: Planejamento de mina Vale S.A.

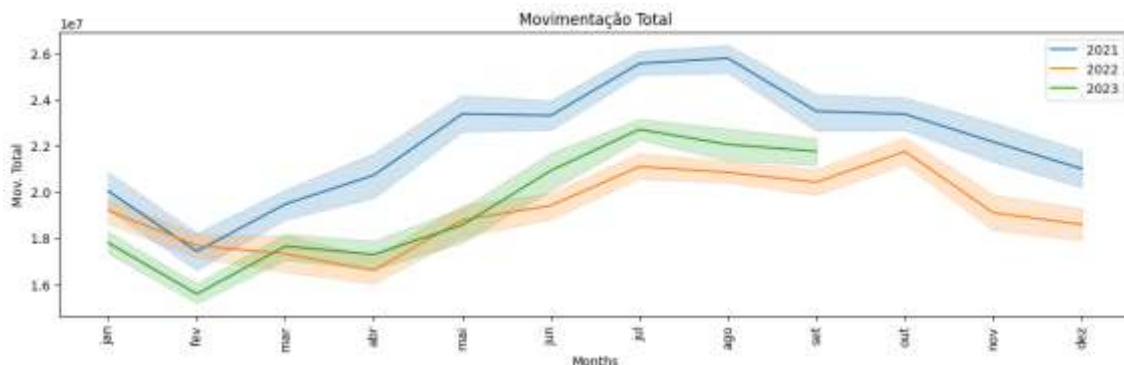
4.1 Obtenção e tratamento de dados

Para obter os dados históricos de produção, juntamente com os indicadores e a massa produzida, foi utilizado o sistema de monitoramento de mina Dispatch. Os dados foram coletados por meio de uma planilha no Excel que se conecta ao banco de dados da Vale através de uma consulta em SQL, onde foram consolidados e organizados diariamente, levando em consideração a frota de transporte (capacidade dos caminhões).

Em seguida, os dados históricos foram carregados no Google Drive e lidos usando o Google Colab para análise e compreensão dos mesmos. Durante essa análise, observou-

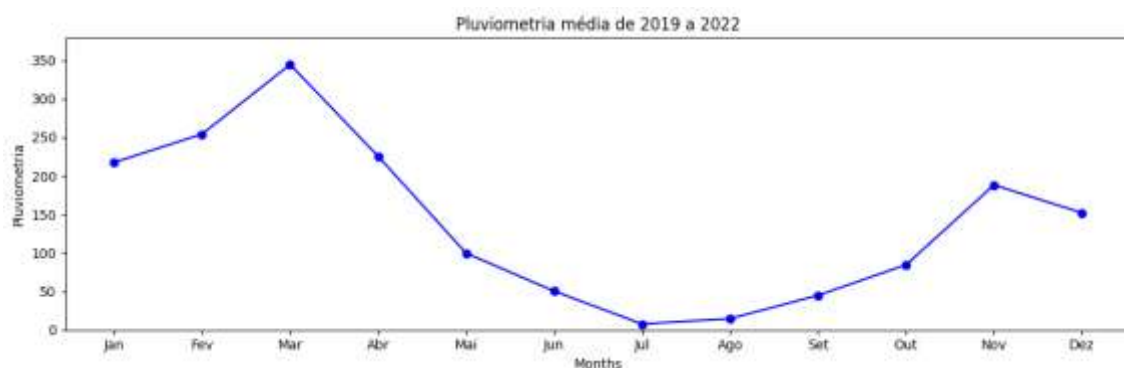
se que os dados de produção apresentam variações sazonais em determinados períodos do ano, seguindo um padrão influenciado pela sazonalidade pluviométrica. Essa relação pode ser visualizada nas Figura 7 e Figura 8.

Figura 7 - Gráfico de movimentação de mina



Fonte: Criação própria.

Figura 8 - Gráfico com média mensal da pluviometria de 2019 a 2022



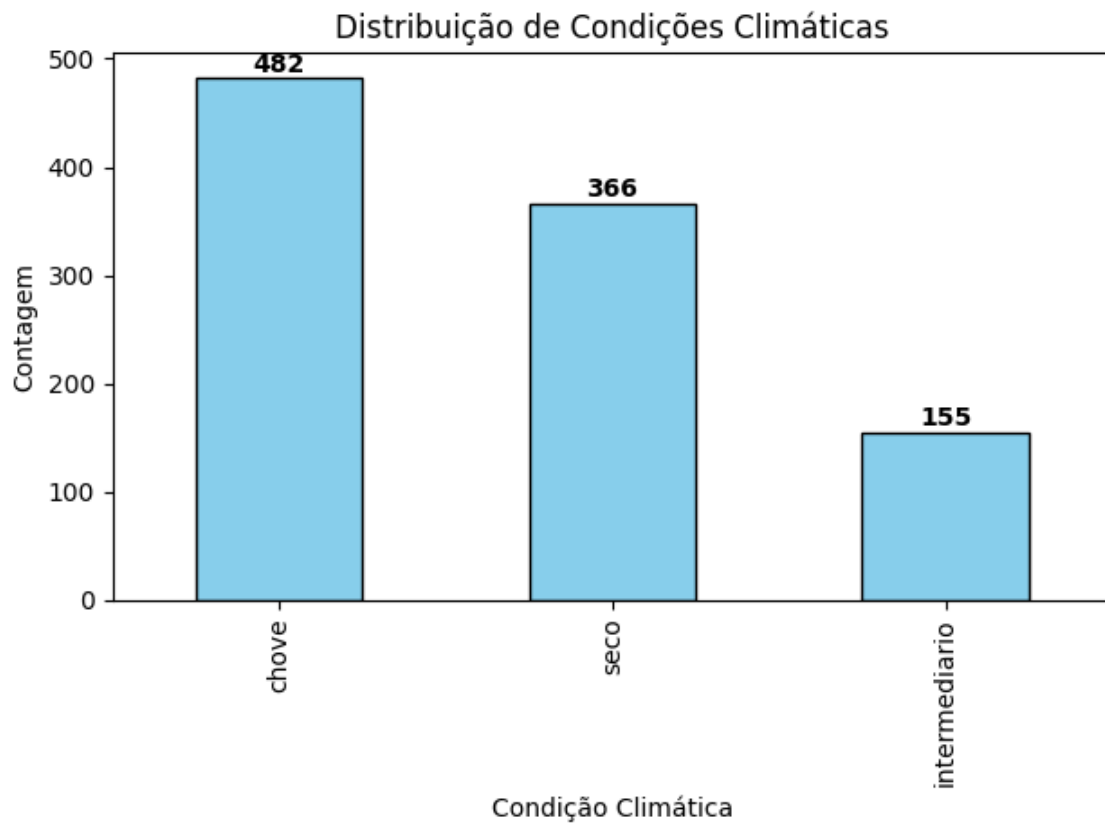
Fonte: Criação própria.

O conjunto de dados principal foi dividido em três conjuntos de dados distintos, cada um representando um período diferente: chove, intermediário e seco. Essa segregação permite uma análise mais precisa e específica para cada período, levando em consideração as características e influências climáticas relacionadas à pluviosidade.

Os meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro foram categorizados como períodos que chove, enquanto os meses de maio e outubro foram designados como intermediários. Já os meses de junho a setembro foram identificados como períodos secos.

Na Figura 9 é possível ver como ficou segmentado a base de dados.

Figura 9 - Segmentação da base de dados por período do ano

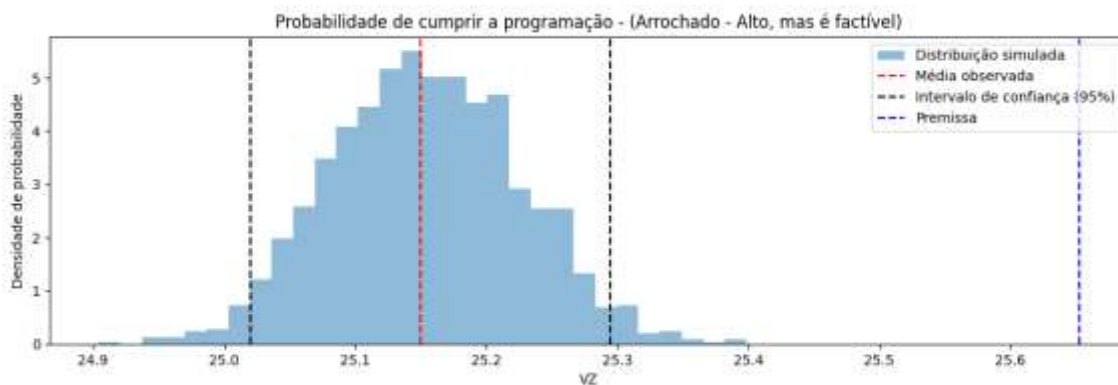


Fonte: Criação Própria.

Os indicadores analisados foram, velocidade vazia, velocidade cheio, velocidade média, tempo de fila no carregamento, tempo de carregamento, tempo de manobra, tempo de fila no basculamento, tempo de basculamento, tempo de hora de atraso operacional, tempos fixos, distância média de transporte, carga média, produtividade horário, número de viagens, movimentação total, disponibilidade física de transporte e carga, utilização física de transporte e carga.

4.2 Processo de cálculo de probabilidade

Figura 10- Probabilidade de cumprir VZ



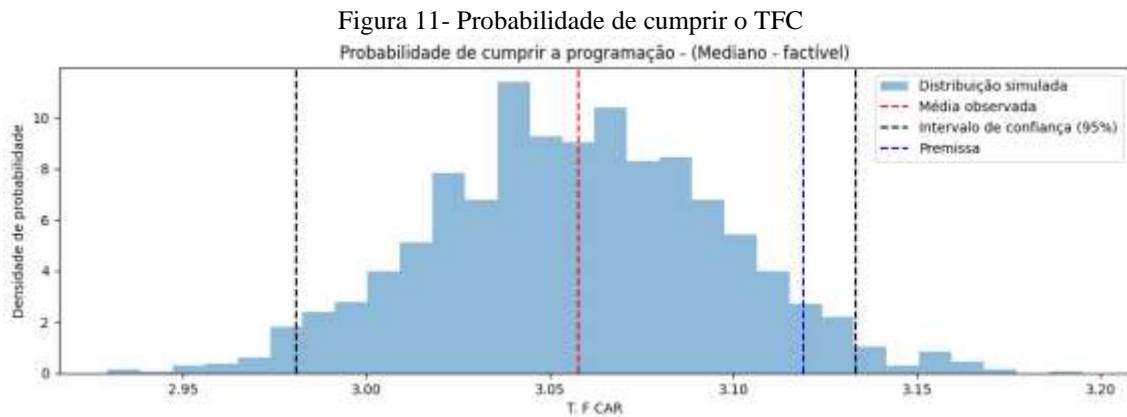
Fonte: Criação própria.

A probabilidade calculada na Figura 10 representa a chance de que a produção da mina seja igual ou superior à produção programada. Para calcular essa probabilidade, utilizamos a distribuição normal, que é uma distribuição estatística que é frequentemente utilizada para modelar dados contínuos que têm uma distribuição simétrica em torno da média.

A distribuição normal é caracterizada pela sua média e pelo seu desvio padrão. A média representa o valor central da distribuição, enquanto o desvio padrão representa a variação dos dados em relação à média. Com esses dois parâmetros, podemos calcular a probabilidade de que um determinado valor esteja dentro de um intervalo específico.

No exemplo anterior, utilizamos a função `norm.sf` da biblioteca `scipy.stats` para calcular a probabilidade de que a produção seja igual ou superior à produção programada. A função `norm.sf` calcula a "sobrevivência" da distribuição normal, ou seja, a probabilidade de que um valor seja maior ou igual a um determinado limite.

No nosso caso, empregamos a média e o desvio padrão da velocidade vazia para estimar a probabilidade de a velocidade vazia ser igual ou superior à velocidade programada. Se a probabilidade calculada for alta, isso indica uma grande probabilidade de a velocidade vazia atingir ou exceder a velocidade programada. Por outro lado, se a probabilidade for baixa, isso sugere que é improvável que a velocidade vazia atinja a meta de velocidade programada.



Fonte: Criação própria.

Na Figura 11 o cálculo é realizado utilizando a função de distribuição acumulada (CDF - Cumulative Distribution Function) da distribuição normal. A CDF retorna a probabilidade acumulada de um valor ser menor ou igual a um determinado limite.

Para calcular essa probabilidade, é necessário fornecer a média e o desvio padrão do tempo de fila no carregamento. Em seguida, utilizamos a função `norm.cdf()` da biblioteca `scipy.stats`, passando como parâmetros a média, o desvio padrão e o tempo programado, para obter a probabilidade acumulada até o tempo programado.

O resultado obtido representa a probabilidade de que o tempo de fila no carregamento seja menor ou igual ao tempo programado. Essa probabilidade pode ser interpretada como a chance de que a fila seja atendida dentro do tempo planejado.

Segundo Mendenhall e Beaver (2012), a distribuição normal, também conhecida como distribuição gaussiana, é completamente caracterizada por sua média (μ) e desvio padrão (σ). A função de distribuição acumulada (CDF) de uma variável aleatória normal é dada pela seguinte equação:

$$F(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - \mu}{\sigma\sqrt{2}} \right) \right]$$

Equação 1 – Função de distribuição acumulada

Onde erf é a função erro, que é uma função matemática relacionada à integral da distribuição normal.

A função de sobrevivência (SF) é simplesmente o complemento da CDF e é dada por:

$$SF(x; \mu, \sigma) = 1 - \frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{x - \mu}{\sigma\sqrt{2}} \right) \right]$$

Equação 2 - Função de sobrevivência

É importante notar que o cálculo da probabilidade assume que os dados seguem uma distribuição normal e que a média e o desvio padrão calculados a partir dos dados históricos são representativos dos dados atuais. Se os dados mudaram significativamente desde os históricos, ou se os dados não seguem uma distribuição normal, o resultado do cálculo da probabilidade pode não ser preciso.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados alguns dos resultados das análises exploratórias, bem como o desfecho da análise de probabilidade de cumprimento de cada indicador da programação diária do D+1.

5.1 Análise exploratória dos dados

Inicialmente, realizamos uma análise exploratória dos dados para entender as tendências e padrões presentes na produção da mina ao longo do tempo. Utilizamos técnicas de visualização de dados para identificar possíveis sazonalidades, tendências de longo prazo e eventos excepcionais.

Na (Tabela 2 - Correlação entre os indicadores que sustentam a PDT de transporte) a seguir observamos a correção entre as premissas históricas que compõe a produtividade de transporte, premissas essas que também são programadas no D+1.

Segue a fórmula da produtividade de transporte:

$$PDT = CM / ((2 * DMT / VM) + (TF/60))$$

Unidade de medida de cada variável:

PDT (t/h) – Tonelada hora

CM (t) – Tonelada

DMT (km) – Quilômetro

VM (km/h) – Quilômetro por hora

TF (min) – Minutos

Tabela 2 - Correlação entre os indicadores que sustentam a PDT de transporte

PREMISSAS	VM	CM	DMT	TF	PDT
VM	100.0	18.0	-10.0	-4.0	55.0
CM	18.0	100.0	-17.0	49.0	44.0
DMT	-10.0	-17.0	100.0	-20.0	-71.0
TF TOTAL	-4.0	49.0	-20.0	100.0	1.0
PDT	55.0	44.0	-71.0	1.0	100.0

Fonte: Criação própria.

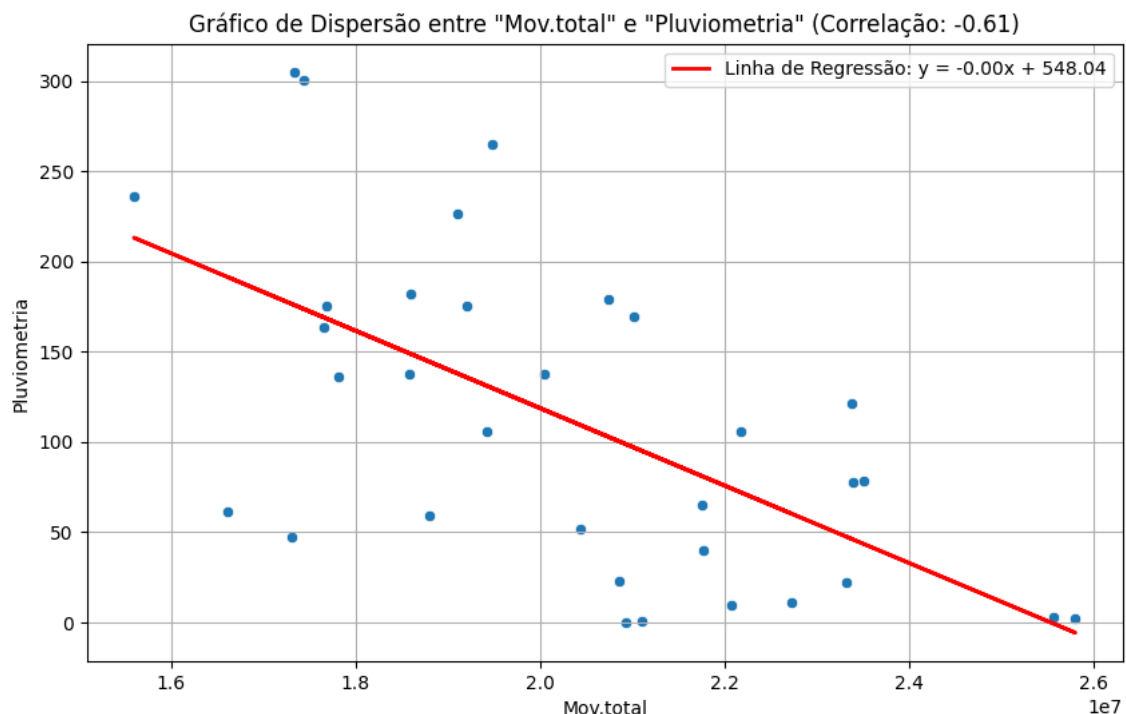
A Tabela 2 apresenta as correlações parciais entre as variáveis (VM), (CM), (DMT), (TF) e (PDT). Cada valor na matriz representa a correlação parcial expressa em porcentagem.

Aqui estão algumas observações que podem ser extraídas:

1. A variável velocidade média (VM) apresenta uma forte correlação positiva com produtividade (67.55%). Isso indica que um aumento nos valores de (VM) está associado a um aumento proporcional nos valores de (PDT).
2. A variável carga média (CM) também possui uma correlação positiva significativa com produtividade (70.59%). Isso sugere que um aumento nos valores de (CM) está relacionado a um aumento nos valores de (PDT).
3. A variável distância média de transporte (DMT) possui uma forte correlação negativa com produtividade (-78.34%). Isso indica que um aumento nos valores de (DMT) está associado a uma diminuição nos valores de (PDT).

Na Figura 7, podemos observar o gráfico de movimentação de mina ao longo de um período. Notamos uma variação sazonal consistente, com picos de produção durante certos meses do ano. Essa sazonalidade está relacionada à pluviosidade, como evidenciado pela Figura 12, que mostra a correlação de 0,61 entre as duas variáveis. Podemos observar que os picos de produção estão correlacionados com períodos de menor precipitação, indicando que as condições climáticas têm um impacto significativo na produção da mina.

Figura 12 - Gráfico de dispersão entre a movimentação de mina e pluviosidade.



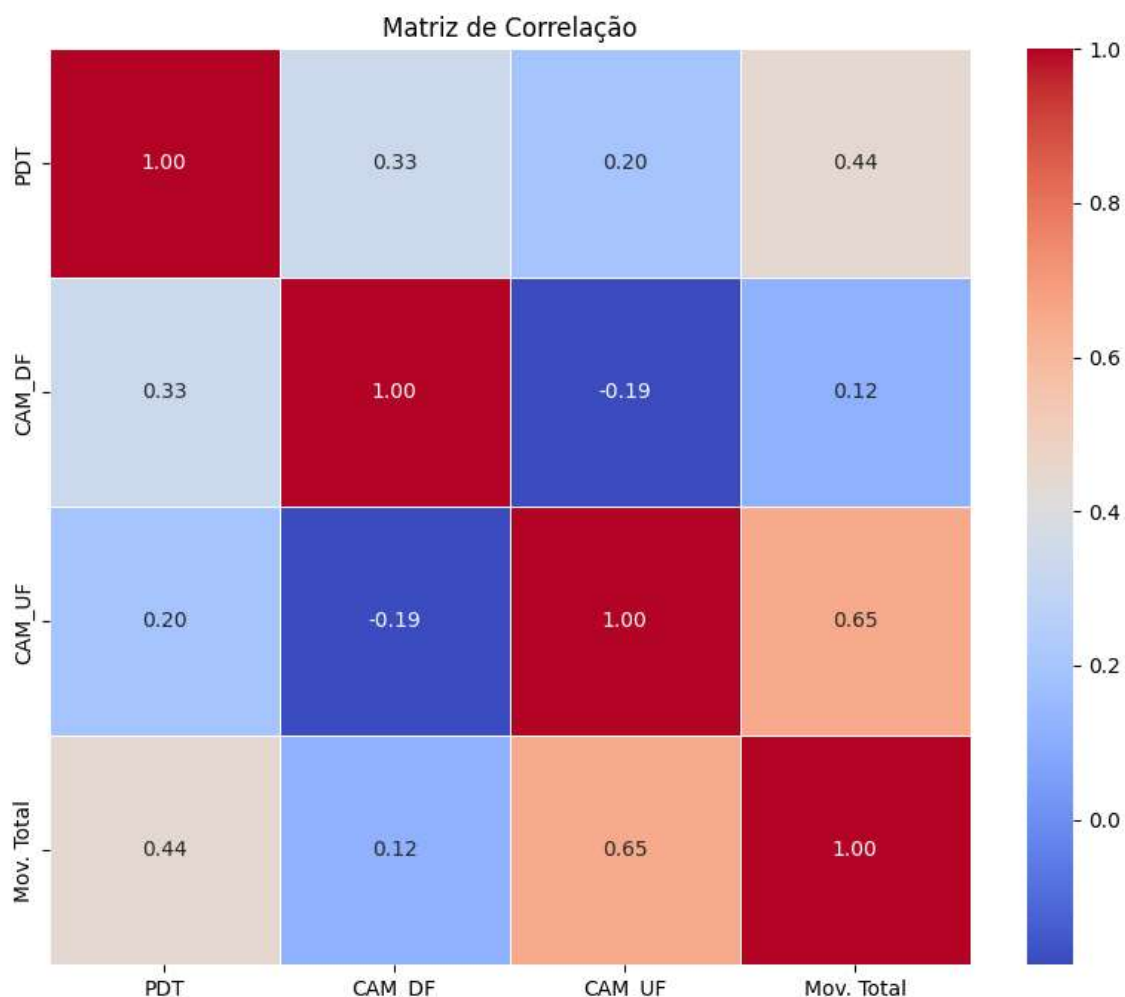
Fonte: Criação própria.

5.2 Identificação de fatores de risco

Com base na análise dos dados históricos, identificamos os principais fatores de risco que afetam a produção da mina. Esses fatores podem ser divididos em fatores internos e externos.

Entre os fatores internos, observamos que a utilização física de transporte desempenha um papel crucial na produtividade da mina como pode ser visto na Figura 13, uma correlação de 0,65 entre as variáveis de Movimentação total e UF de transporte (CAM_UF). Além disso, a eficiência operacional, representada por indicadores como velocidade média, carga média, distância média de transporte e tempos fixos, também influencia a produtividade da mina como mostra a Tabela 2.

Figura 13 - Correlação entre as variáveis que sustentam a movimentação de mina

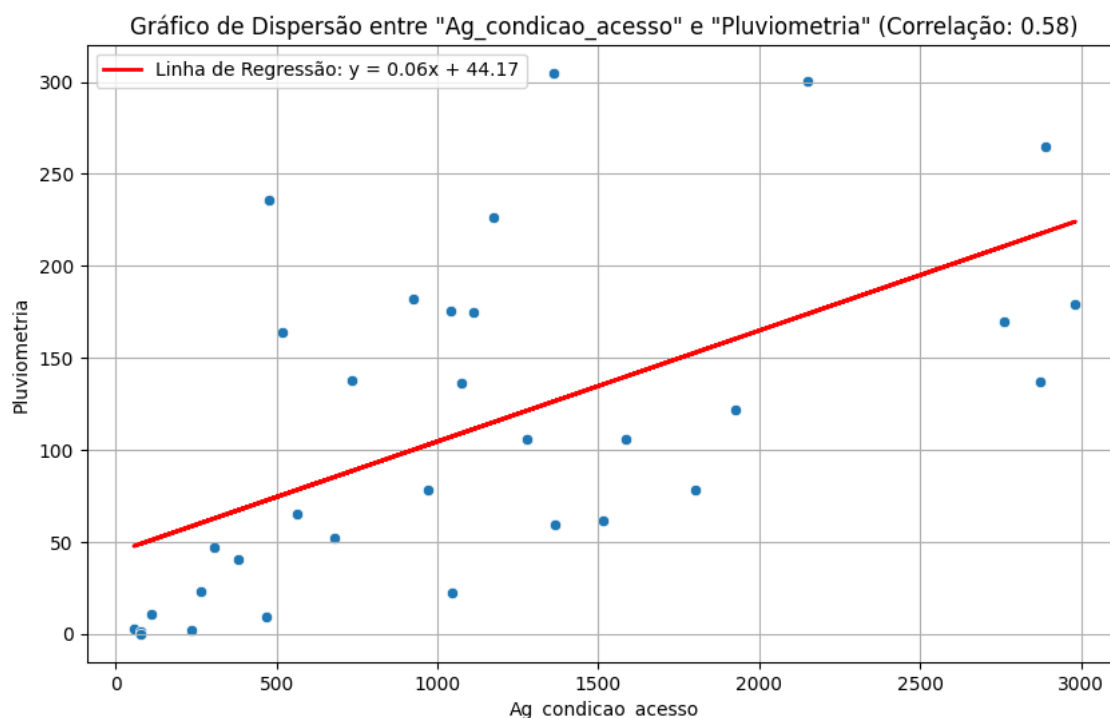


Fonte: Criação própria.

Quanto aos fatores externos, destacamos as condições climáticas. As condições climáticas, como a pluviosidade, podem afetar a disponibilidade de estradas e a segurança

operacional, influenciando diretamente a produção da mina. Figura 14 podemos ver a correlação entre a pluviometria e a variável aguardando condição de acesso na mina.

Figura 14- Gráfico de dispersão entre as variáveis de ag. Condição de acesso e pluviometria



Fonte: Criação Própria.

5.3 Cálculo da probabilidade de eventos adversos

Com base nos dados históricos e na identificação de fatores de risco, calculamos a probabilidade de ocorrência de eventos adversos que possam afetar a produção da mina. Utilizamos técnicas estatísticas, como distribuição normal e modelagem de séries temporais, para estimar a probabilidade de eventos como falhas de equipamentos, atrasos na produção e baixa produtividade horária.

Na Tabela 3, apresento os resultados das análises de probabilidade de cumprimento de cada premissa de programação. Ao analisar a tabela, observa-se que alguns indicadores apresentam um risco classificado como "Nenhum, plano subestimado", indicando uma alta probabilidade de cumprimento. Em contrapartida, há indicadores com um risco classificado como "Desafiador – Muito alto, cumprimento improvável", o que sugere uma probabilidade quase zero de cumprimento.

Essas constatações destacam a existência de oportunidades com planos de execução robustos e com grande aderência, ao passo que também identificam desafios significativos com probabilidade mínima de êxito. Essa análise proporciona uma base

técnica sólida que respalda a necessidade de propor planos mais ousados e alinhados com a realidade das circunstâncias.

Tabela 3 - Dashboard avaliação de premissas D+1

Avaliação de Premissas - D+1						
Geral						
2023/11/20						
VALE						
Avaliação das Premissas						
Risco	Premissa	Risco	Operacao	D+1	Média observada	Probabilidade
⊗	0 Tempo de Fila Carga	Nenhum, Plano subestimado	menor ou igual a	5,27	3,60	99,00%
⊗	0 Produtividade	Nenhum, Plano subestimado	maior ou igual a	397,86	432,97	94,00%
⊗	0 Tempo de Carregamento	Nenhum, Plano subestimado	menor ou igual a	3,83	3,48	93,00%
⊗	1 Tempos Fixos	Baixissimo - sem risco	menor ou igual a	13,41	12,24	88,00%
⊗	1 Velocidade Vazio	Baixissimo - sem risco	maior ou igual a	24,51	23,67	84,00%
⊗	1 Carga Média	Baixissimo - sem risco	maior ou igual a	297,14	300,41	79,00%
⊗	1 Velocidade Média	Baixissimo - sem risco	maior ou igual a	20,80	21,34	76,00%
⊗	1 DF das carregadeiras	Baixissimo - sem risco	maior ou igual a	0,65	0,69	72,00%
⊕	2 DF dos Caminhões	Baixo - sem risco	maior ou igual a	0,81	0,82	62,00%
⊕	2 DF das Escavadeiras	Baixo - sem risco	maior ou igual a	0,69	0,71	60,00%
⊕	3 Movimentação Total	Mediano - factível	maior ou igual a	674.807,88	675.939,69	51,00%
⊕	4 Tempo de Manobra	Alto - factível	menor ou igual a	1,84	1,84	49,00%
⊕	4 Nº de ciclos	Alto - factível	maior ou igual a	2.271,00	2.250,24	48,00%
⊕	4 UF das carregadeiras	Alto - factível	maior ou igual a	0,73	0,72	46,00%
⊕	5 Distância Média de transporte	Arrojado - Alto, mas é factível	menor ou igual a	5,03	5,21	34,00%
⊗	6 Velocidade Chela	Desafiador - Muito alto, cumprimento improvável	maior ou igual a	17,76	17,47	29,00%
⊗	6 Tempo de Basculamento	Desafiador - Muito alto, cumprimento improvável	menor ou igual a	1,16	1,19	19,00%
⊗	6 UF dos Caminhões	Desafiador - Muito alto, cumprimento improvável	maior ou igual a	0,84	0,79	7,00%
⊗	6 Tempo de Atrazo Operacional	Desafiador - Muito alto, cumprimento improvável	menor ou igual a	1,23	1,63	5,00%
⊗	6 UF das Escavadeiras	Desafiador - Muito alto, cumprimento improvável	maior ou igual a	0,70	0,58	2,00%
⊗	6 Tempo de Fila Basculamento	Desafiador - Muito alto, cumprimento improvável	menor ou igual a	0,07	0,45	0,00%

Fonte: Criação Própria.

5.4 Estratégias de gerenciamento de risco e geração de valor

Com base no cálculo que avalia o risco de cumprir ou não os indicadores, estamos desenvolvendo uma abordagem para aprimorar nossos indicadores, visando uma maior proximidade com a realidade e incorporando metas desafiadoras para incentivar as equipes de operação, manutenção, monitoramento e controle a buscar resultados ainda melhores na produção da mina.

A proposta é estabelecer indicadores mais realistas e, ao mesmo tempo, estabelecer metas mais ambiciosas, proporcionando um desafio adicional para as equipes. Acreditamos que essa abordagem estimulará um maior empenho e comprometimento, resultando em melhorias significativas no desempenho da produção e, conseqüentemente, na geração de valor financeiro.

Ao definir indicadores mais próximos da realidade, poderemos ter uma avaliação mais precisa do desempenho da mina, permitindo identificar lacunas e oportunidades de melhoria.

Essa abordagem não apenas impulsiona a melhoria contínua, mas também cria um ambiente de competição saudável entre as equipes, estimulando a colaboração e o

compartilhamento de boas práticas. Além disso, ao alcançar indicadores mais arrojados, aumentamos a eficiência operacional e a rentabilidade da mina.

Com essa abordagem, esperamos promover uma cultura de excelência e superação, impulsionando o desempenho da produção da mina de minério de ferro e maximizando o valor financeiro gerado. Ao desafiar constantemente os limites e buscar resultados ainda melhores, posicionaremos a mina como referência no setor, alcançando níveis de eficiência e rentabilidade cada vez mais elevados.

5.5 Limitações e considerações

É importante ressaltar que a análise dos dados históricos e a modelagem estatística têm suas limitações. A precisão das estimativas e das probabilidades calculadas depende da representatividade e qualidade dos dados históricos, bem como da validade das suposições estatísticas utilizadas.

Além disso, as estratégias de gerenciamento de risco propostas devem ser adaptadas às características específicas da mina e às condições operacionais atuais. É fundamental considerar fatores contextuais, como a disponibilidade de recursos e as restrições do mercado, ao implementar as estratégias.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Desenvolver modelos preditivos para antecipar a ocorrência de eventos adversos, permitindo a implementação de medidas preventivas de forma proativa.

Explorar como a integração de tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA) e Big Data, pode aprimorar a coleta e análise de dados históricos, melhorando a precisão das avaliações de risco.

Aplicar a metodologia desenvolvida a outras operações de mineração, como carvão, ouro, cobre, para avaliar a sua eficácia em diferentes contextos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, a eficácia das estratégias de gerenciamento de risco só pode ser avaliada após sua implementação e monitoramento contínuo. É necessário realizar uma avaliação periódica e ajustar as estratégias conforme necessário para garantir sua efetividade.

A avaliação de risco na programação de produção de uma mina de minério de ferro com base em dados históricos é um processo complexo que envolve a coleta, análise e interpretação de dados, bem como a implementação de estratégias de gerenciamento de risco adequadas.

A análise dos dados históricos revelou padrões e tendências relevantes, como variações sazonais na produção e a ocorrência de eventos adversos. Esses dados foram explorados por meio de técnicas estatísticas e ferramentas de análise de dados para identificar fatores de risco e calcular a probabilidade de ocorrência de eventos adversos.

Com base nessa análise, foram desenvolvidas estratégias de gerenciamento de risco para mitigar os impactos negativos dos eventos adversos. A análise de impacto financeiro permitiu avaliar os custos associados a esses eventos e as estratégias propostas, fornecendo insights sobre os impactos financeiros esperados.

A combinação dessas abordagens, incluindo análise de dados, modelagem estatística, simulações e avaliação financeira, possibilita uma compreensão mais aprofundada do risco na programação de produção da mina de minério de ferro e suporta a tomada de decisões informadas para gerenciar esse risco.

No entanto, é importante destacar que a avaliação de risco e as estratégias de gerenciamento propostas dependem da qualidade dos dados históricos e das premissas adotadas. É fundamental manter um monitoramento contínuo e atualizado dos dados e reavaliar periodicamente as estratégias de gerenciamento de risco para garantir sua eficácia ao longo do tempo.

Em suma, a avaliação de risco na programação de produção de uma mina de minério de ferro com base em dados históricos é um processo multidisciplinar que envolve análise de dados, modelagem estatística, simulações e avaliação financeira. Essas abordagens fornecem insights valiosos para a gestão de risco e contribuem para a otimização da programação de produção da mina.

REFERÊNCIAS

- ÁVILA, M. A. (2020). **Estatística e Probabilidade com Python: Utilizando as bibliotecas NumPy, Pandas e Matplotlib**. Editora Casa do Código.
- BORGES, M. **Gestão de Projetos: Gerenciamento dos Riscos**. 2023. Disponível em <https://liag.ft.unicamp.br/15-gerenciamento-dos-riscos/>
- CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 8. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. 608 p.
- CHIAVENATO, Idalberto. **Gestão da Produção: uma abordagem introdutória**. 3. ed. São Paulo: Manole, 2014.
- EQUIPE TOTVS. (15 de fevereiro de 2022). **Mineração de dados: o que é, importância e ferramentas**. Recuperado de <https://www.totvs.com/blog/negocios/mineracao-de-dados/>.
- FERNANDES, F. C., FILHO, M. G. **Planejamento e Controle da Produção: dos fundamentos ao essencial**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2017.
- MAGALHÃES, Beatriz Damasceno Pereira. "**Diretrizes para a elaboração de um manual de planejamento estratégico de empresas de pequeno e médio porte**." (2022).
- MENDENHALL, William; Beaver, Robert J. **Introduction to Probability and Statistics**. Aprendizagem Cengage, 2012.
- MONTOR, B. R.; BERTACI, M. J. PLANEJAMENTO E CONTROLE DE PRODUÇÃO. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 578–589, 2020. DOI: 10.31510/inf.v17i1.748. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/748>. Acesso em: 25 nov. 2023.
- OLIVEIRA, R. A. M. **A importância do Planejamento e Controle de Produção em uma organização**. Orientador: Valdir Antônio Vitorino Filho. 2014. 37 p. Artigo Acadêmico (Graduação em Administração) - FACECAP, São Paulo, 2014. Disponível em: http://www.cneccapivari.br/libdig/index.php?option=com_rubberdoc&view=doc&id=768&format=raw. Acesso em: 19 fev. 2020.
- OLIVEIRA, A. H. (2022). **Análise da importância do planejamento e controle de produção no processo produtivo de uma empresa do ramo da mineração**.

PROENÇA, E.; TUBINO, D. (2010). Monitoramento automático e em tempo real da eficácia global dos equipamentos (OEE) como prática de apoio à manufatura enxuta: um estudo de caso. **Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP)**, 30.

QUEIROZ, J. R. (2022, 2 de agosto). **Avaliação de riscos e oportunidades nas normas ISO. Blog Industrial Nomus.** Recuperado de <https://www.nomus.com.br/blog-industrial/avaliacao-de-riscos-e-oportunidades-nas-normas-iso/>

REDATOR PONTOTEL. (28 de fevereiro de 2023). **Análise de risco:** veja como fazer, quais situações utilizar e importância para empresas e projetos! Recuperado de <https://www.pontotel.com.br/analise-de-risco/>

RUSSOMANO, V. H. **Planejamento e controle da produção.** 6.ed. São Paulo: Pioneira, 2000.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.