

Adilson Lopes Moura

**ESTUDO DE PARÂMETROS DE CONTROLE NECESSÁRIOS PARA GARANTIR A
ESTABILIDADE DE PILHAS DE MINÉRIO EM PÁTIOS DE ESTOCAGEM**

Carajás, Pará

2020

Adilson Lopes Moura

**ESTUDO DE PARÂMETROS DE CONTROLE NECESSÁRIOS PARA GARANTIR A
ESTABILIDADE DE PILHAS DE MINÉRIO EM PÁTIOS DE ESTOCAGEM**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em Beneficiamento Mineral.

Orientador: Frederico Quintiliano Guimarães Góes

Carajás, Pará

2020

Título: Estudo de parâmetros de controle necessários para garantir a estabilidade de pilhas de minério em pátios de estocagem

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)

M929e

Moura, Adilson Lopes

Estudo de parâmetros de controle necessários para garantir a estabilidade de pilhas de minério em pátios de estocagem / Adilson Lopes Moura - Ouro Preto, 2021.

85 f.: il.

Monografia (Especialização *latu sensu*) - Instituto Tecnológico Vale, 2021.
Orientador (a): Frederico Quintiliano Guimarães Góes

1. Pilhas de minério. 2. Desmoronamento. 3. Sistema de Gerenciamento.
I. Góes, Frederico Quintiliano Guimarães. II. Título.

CDD. 23. ed. 622.7

Bibliotecária responsável: Nisa Gonçalves – CRB 2 - 525

Adilson Lopes Moura

**ESTUDO DE PARÂMETROS DE CONTROLE NECESSÁRIOS PARA
GARANTIR A ESTABILIDADE DE PILHAS DE MINÉRIO EM PÁTIOS DE
ESTOCAGEM**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista *lato sensu* em [Beneficiamento Mineral].

Orientador: Frederico Quintiliano Guimarães Góes

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 26 de outubro de 2020 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Frederico Quintiliano Guimarães Góes
Orientador – VALE

Thiago Cesar de Souza Pinto
Membro interno – VALE

Alfredo Moises Sarkis
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

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/2E71-D271-8731-DDA3> 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/2E71-D271-8731-DDA3> 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: 2E71-D271-8731-DDA3



Hash do Documento

F9C80196E3AD804F45D6AD49F0F59C8CE68A1277EB3BDD18CFE01B957D56BE2C

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 25/01/2021 é(são) :

- Frederico Quintiliano Guimarães Góes (Signatário) - em 25/01/2021 16:07 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificação: Por email: frederico.goes@vale.com

Evidências

Client Timestamp Mon Jan 25 2021 16:07:12 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -19.971112705882348 Longitude: -43.972004764705865 Accuracy: 275
IP 142.40.176.69
Hash Evidências:
55B12E71421A5200410F2143092CEA3FC2D2173E8B5A580B006EB102A5B43E51

- Alfredo Moises Sarkis (Signatário) - em 25/01/2021 15:37 UTC-03:00
Tipo: Assinatura Eletrônica
Identificação: Por email: alfredo.moises@itv.org

Evidências

Client Timestamp Mon Jan 25 2021 15:36:41 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)
Geolocation Latitude: -22.5022 Longitude: -44.1083 Accuracy: 21235
IP 177.137.243.114
Hash Evidências:
5FCBA54A02753941645079C3753641752B8D7DEDB9DEB6C0B80A1D50374E7C67

- Thiago Cesar de Souza Pinto (Signatário) - em 21/12/2020 09:42 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: thiago.souza@vale.com

Evidências

Client Timestamp Mon Dec 21 2020 09:42:15 GMT-0300 (Hora oficial do Brasil)

Geolocation Latitude: -21.20983742857143 Longitude: -47.806636714285716 Accuracy: 275

IP 189.123.108.199

Hash Evidências:

696461D5FB5EECBE9E11B1EA6101F23630C7B594210876B45C70B0FA715C4A5C



Dedico este trabalho a minha família, que compreendeu meus momentos de ausência, em especial minha esposa Flávia, meus filhos Anna Lara e Fabrício Lorenzo, meus pais e todos os meus familiares que sempre acreditaram em mim.

À Deus por tudo e por estas pessoas que fazem parte da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pelo fôlego de vida e pela minha existência, gratidão a Deus por essa oportunidade em concluir mais um curso, desta vez, uma especialização pela empresa VALE S/A.

Agradecer a minha família pelo apoio e incentivo e por me ajudar a não desistir, estive ausente em alguns momentos, mas, com perseverança pude continuar e concluir este trabalho.

Agradecer ao gestor Leonardo Marques, pela indicação e oportunidade a realizar essa pós-graduação, grato por confiar em meu trabalho.

Aos professores que puderam compartilhar os seus conhecimentos com todos nós, alunos da primeira turma de Pós-Graduação em Beneficiamento Mineral.

A todos os alunos, pela parceria, diálogo em sala de aula, todos foram grandiosos.

Aos coordenadores e pontos focais, Andreia Hertel, Franciele Barbosa e Jamilly Souza pelo apoio prestado durante o curso.

A coordenadora Prof. Dra. Iranildes Santos, pelo direcionamento e orientações durante toda a elaboração do trabalho acadêmico.

A gestora, Luciana Reis pela confiança, pelo incentivo no protagonismo de carreira.

Ao Instituto Tecnológico Vale (ITV), pela capacitação e atenção dispensada.

Ao meu orientador Frederico Góes, pela dedicação, atenção e apoio na orientação deste trabalho.

A todo o time e minha equipe atual, na supervisão de Gestão do Conhecimento na Usina em Carajás.

Não poderia deixar de mencionar, todos os profissionais da Gerência de Operação/Manutenção Estocagem e Expedição, em especial aos gestores: Nathalya Oliveira, Rubens Brito, Eduardo Azevedo, Mário Sérgio e Carlos Aparecido.

Aos técnicos, engenheiros e analistas: Hugo Camargo, Marcos Alves Oliveira, Alexandre Brandão, Valcir Lima, Wilson Monteiro, Wexciley Almeida, Thiago Nunes, Joel Pinto, Wallace Araújo, Joelson Sampaio, Josimar Peixe, Gilvan Nunes, Tatiana Brandão, que participaram deste trabalho, onde, contribuímos juntos de forma exaustiva para mudança de patamar nas operações e por acreditar que é possível transformar uma operação segura e produtiva através de um método aplicado.

Por fim, minha esposa Flávia, meus filhos Anna Lara e Fabrício Lorenzo, pelo carinho, apoio e incentivo durante a dedicação a este trabalho, amo vocês!

“Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende, e não há sucesso no que não se gerencia”

(William Deming)

RESUMO

A busca por processos padronizados, através de uma sistemática aplicada e com medidas de controles eficazes de modo a evitar desperdícios, perdas de produtividade e demais impactos é o foco principal e comumente desejado por indústrias e grandes organizações no setor industrial e mineral. Este trabalho teve como objetivo estudar e sistematizar os parâmetros de controle para estabilização de pilhas de minério na unidade operacional em Carajás Serra Norte, pertencente à empresa VALE S/A. O período e realização deste trabalho compreendem entre os anos de 2018 e 2019 utilizando o modelo de gestão da empresa e baseado em estudos realizados no produto de minério de ferro, foi considerado a análise da altura das pilhas e teor de umidade tendo como base fatores de segurança para estabilidade de talude e para mitigação de risco contra danos a vida humana, danos materiais e ambientais.

Palavras-chave: Pilhas de minério. Desmoronamento. Sistema de gerenciamento.

ABSTRACT

The search for standardized processes, through an applied system and with effective control measures in order to avoid waste, productivity losses and other impacts is the main and commonly desired focus by industries and large organizations in the industrial and mineral sector. This work aimed to study and systematize the control parameters for stabilization of ore piles at the operational unit in Carajás Serra Norte, owned by the company VALE S/A. The period and realization of this work comprise between the years 2018 and 2019 using the company's management model and based on studies carried out on the iron ore product, the analysis of the height of the piles and moisture content was considered based on factors of security for slope stability and risk mitigation against damage to human and material and environmental life.

Keywords: Ore piles. Collapse. Management System.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DBO	Diretrizes Básicas de Operação
DT	Diagnostico Técnico
FMDS	<i>Floor Management Development System</i> (Sistema de Desenvolvimento de Gerenciamento do Chão de Fábrica)
FS	Fatores de Segurança
IAEG	<i>International Aerospace Environmental Group</i>
KPI	<i>Key Performance Indicators</i> (Indicadores Chaves de Performance)
P	Peso da Amostra
PA	Peso da Água
PS	Partículas Sólidas
PS	Peso Seco
PTM	Plano de Trabalho Mensal
S	Grau de Saturação
SFLS	<i>Sinter Feed Low</i> Sílica
SFCK	<i>Sinter Feed</i> Carajás
STP	Sistema Toyota de Produção
TE	Teste de Eficiência
TMPM	Terminal Marítimo Ponta da Madeira
VPS	SISTEMA DE PRODUÇÃO VALE - <i>Vale Production System</i>
ROM	<i>Run Of Mine</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma de produção VALE S/A.....	22
Figura 2: Mapa regional Pará/Maranhão	23
Figura 3: Áreas de Produção do Minério de Ferro no Estado do Pará	24
Figura 4: Vista aérea dos Pátios	25
Figura 5: Produtos minério de ferro em Carajás	25
Figura 6: Vista aérea dos Pátios em Carajás	26
Figura 7: Etapas do processo – Pátios de Estocagem Carajás.....	27
Figura 8: Esquema de preenchimento de espaços vazios por água	31
Figura 9: Desenho esquemático de processo de saturação de água em sólidos granulados	31
Figura 10: Evolução da freática de uma pilha formada com saturação de água superior a 60%.	38
Figura 11: Evolução do fator de segurança correlacionado à elevação da freática e aumento de grau de saturação de água de pilha de <i>Sinter Feed</i>	39
Figura 12: Classificação de Deslizamento de pilhas	40
Figura 13: Simulação de altura de pilha de produto de <i>sinter feed</i> utilizando fator de segurança de 1,3 (segundo norma ABNT 11.682/2009) com 30% de saturação de água. Altura de pilha: 12 metros.	43
Figura 14: Simulação de fator de segurança (segundo Norma 11.682/2009) variando altura de pilha e utilizando grau de saturação de ~30%. A) - Altura de pilha: 13 metros. B) - Altura de pilha: 15 metros	44
Figura 15: Simulação de altura de pilha de produto de <i>sinter feed</i> utilizando fator de segurança de 1,3 (segundo norma ABNT 11.682/2009) com 60% de saturação de água. Altura de pilha: 10 metros.	45
Figura 16: Simulação de pilha de produto com altura de 12 metros e grau de saturação, aproximadamente, 60% apresentou fator de segurança de 1,19 abaixo do estabelecido por norma. Altura de pilha: 12 metros.	45
Figura 17: Simulação de altura de pilha de produto de <i>sinter feed</i> utilizando fator de segurança de 1,3 (segundo norma ABNT 11.682/2009) com 20% de saturação de água. Altura de pilha: 14 metros.	46
Figura 18: Simulação de pilha de produto com altura de 15 metros e grau de saturação, aproximadamente, 20% apresentou fator de segurança de 1,24 abaixo do estabelecido por norma. Altura de pilha: 15 metros.	47

Figura 19: Simulação de altura de pilha de produto de <i>sinter feed</i> utilizando fator de segurança de 1,3 (segundo norma ABNT 11.682/2009) com 40% de saturação de água. Altura de pilha: 11 metros.	48
Figura 20: Simulação de pilha de produto com altura de 14 metros e grau de saturação, aproximadamente, 40% apresentou fator de segurança de 1,2 abaixo do estabelecido por norma. Altura de pilha: 14 metros.	48
Figura 21: Deslizamentos em pátios de estocagem.....	50
Figura 22: Deslizamento de pilha podendo causar fatalidade.....	50
Figura 23: Deslizamento de pilhas.....	51
Figura 24: Deslizamento da Pilha 3C em Carajás-PA (março, 2018).....	52
Figura 25: Classificação dos eventos de deslizamento de pilhas.....	52
Figura 26: Classificação de Deslizamento de pilhas.....	53
Figura 27: Resumo STP (Sistema Toyota de Produção).....	54
Figura 28: Princípios do Sistema Toyota de Produção.....	54
Figura 29: Casa da Toyota / Pilares da Toyota.....	56
Figura 30: Dimensões do Sistema de Produção Vale.....	57
Figura 31: Elementos do Sistema de Produção Vale.....	58
Figura 32: Linha do tempo com a evolução do VPS.....	58
Figura 33: Ilustração dos objetivos das diretrizes básicas de operação.....	60
Figura 34: Papéis e responsabilidades - diretrizes básicas de operação.....	61
Figura 35: Contribuidor realizando a aplicação de DT ao contribuído.....	62
Figura 36: Modelo do FMDS (pirâmide normal e pirâmide invertida).....	63
Figura 37: Passos do FMDS.....	64
Figura 38: Estrutura do FMDS.....	64
Figura 39: Desdobramento das diretrizes até o operacional chão de fábrica.....	65
Figura 40: Exemplo de um painel FMDS.....	66
Figura 41: Altura padrão de pilhas Usinas 1 e 2 (período seco e chuvoso).....	68
Figura 42: Régua medidora de ângulo e inclinações.....	68
Figura 43: <i>Checklist</i> Pilha Padrão.....	69
Figura 44: Profissional em campo realizando as medições e checagem das pilhas.....	69
Figura 45: Trena digital utilizada na medição das pilhas.....	70
Figura 46: Ilustração de referências de medição das pilhas.....	70
Figura 47: Referências de medição das pilhas.....	71
Figura 48: Monitoramento da altura das pilhas.....	71

Figura 49: Altura padrão de pilhas Usinas 1 e 2 (Período Seco).....	72
Figura 50: Relatório de Desvios das Pilhas	73
Figura 51: Tela Sistema de Gestão de Diretrizes Básicas	74
Figura 52: Programação Semanal de Infraestrutura de Pátio	75
Figura 53: Equipamentos de Infraestrutura de Pátio	75
Figura 54: Painel de Gestão dos Indicadores	76
Figura 55: Pilha formada dentro dos padrões desejados	76
Figura 56: Fluxo de análise do processo com o tratamento dos desvios.....	77
Figura 57: Pátios de estocagem em Carajás, período chuvoso (2018)	79
Figura 58: Pátios de estocagem em Carajás, período chuvoso (2019)	79
Figura 59: Pátios de estocagem A e B em Carajás (2017)	80
Figura 60: Pátios de estocagem A e B em Carajás (2019)	80
Figura 61: Vista aérea dos pátios de estocagem A/B e C/D – Usina 1 (2019).....	81
Figura 62: Vista aérea dos pátios de estocagem G/H – Usina 2 (2019)	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Classificação do grau de saturação (IAEG, 1974).....	32
Tabela 2: Correlação entre grau de saturação e teor de umidade de minério de ferro em pilhas de produtos	32
Tabela 3: Fatores de segurança mínimos para deslizamento.....	34
Tabela 4: Valores típicos do parâmetro ru (ASSIS 2003).....	41
Tabela 5: Altura das pilhas por tipo de produto	49
Tabela 6: Padrão de ângulos das pilhas por máquina de pátio	67

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comportamento de pilhas com diferentes graus de saturação, relacionado a fator de segurança e tempo após construção das pilhas	35
Gráfico 2: Comportamento dos tipos de <i>sinter feed</i> (processo a seco e a úmido), evidenciando a capacidade de drenabilidade destes produtos	36
Gráfico 3: Evolução do percentual de argilominerais mais hidróxido de ferro e de porosidade no <i>sinter feed</i> produzido em Carajás	37
Gráfico 4: Relatório de desmoronamento de pilhas em Serra Norte	78

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Fórmula para cálculo de teor de umidade.....	30
Equação 2: Fórmula para determinação de Grau de Saturação (S).....	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas	33
Quadro 2: Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais	33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	22
2 JUSTIFICATIVA	28
3 OBJETIVO	29
3.1 OBJETIVO GERAL.....	29
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	29
3.3 RESULTADOS ESPERADOS	29
4 REFERENCIAL TEÓRICO	30
4.1 TEOR DE UMIDADE	30
4.2 GRAU DE SATURAÇÃO	30
4.3 FATOR DE SEGURANÇA – ESTABILIDADE DE TALUDES (PILHAS)	32
4.4 CORRELAÇÃO ENTRE FATOR DE SEGURANÇA E GRAU DE SATURAÇÃO.....	34
5 METODOLOGIA	40
6 RESULTADOS e DISCUSSÕES - SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS PROBABILÍSTICOS DE MASSA ROMPIDA	41
6.1 ALTURA DE PILHAS, TEOR DE UMIDADE, GRAU DE SATURAÇÃO E FATOR DE SEGURANÇA.....	41
6.1.1 Simulação: Altura de pilha e fator de segurança para Usina 1 – período seco	42
6.1.2 Simulação: Altura de pilha e fator de segurança para Usina 1 – período chuvoso.	44
6.1.3 Simulação: Altura de pilha e fator de segurança para Usina 2 – período seco	46
6.1.4 Simulação: Altura de pilha e fator de segurança para Usina 2 – período chuvoso.	47
6.2 DEFINIÇÃO DE ALTURA DAS PILHAS POR USINA	49
6.3 POR QUE A SEGURANÇA DAS PILHAS É IMPORTANTE?.....	50
6.4 ESTUDO DE CASO	51
6.5 CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS DE DESLIZAMENTOS	52
6.6 O MODELO TOYOTA.....	53
6.7 O SISTEMA DE PRODUÇÃO VALE (VPS)	57
6.8 CONHECENDO AS DIRETRIZES BÁSICAS DE OPERAÇÃO	60
6.9 CONHECENDO O FMDS	63
7 FERRAMENTAS DE CONTROLE E GERENCIAMENTO	67
7.1 CONTROLE E PADRONIZAÇÃO NA ALTURA DAS PILHAS	67
7.2 CONFERÊNCIA DA FORMAÇÃO DAS PILHAS.....	68
7.3 TRATATIVA DOS DESVIOS	73
7.3.1 Primeira tratativa	73
7.3.2 Segunda tratativa	74
7.4 CRIAÇÃO DO FMDS COM ITENS PARA GERENCIAMENTO DA FORMAÇÃO DAS PILHAS	77

8 RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	82
<u>REFERÊNCIAS</u>	84

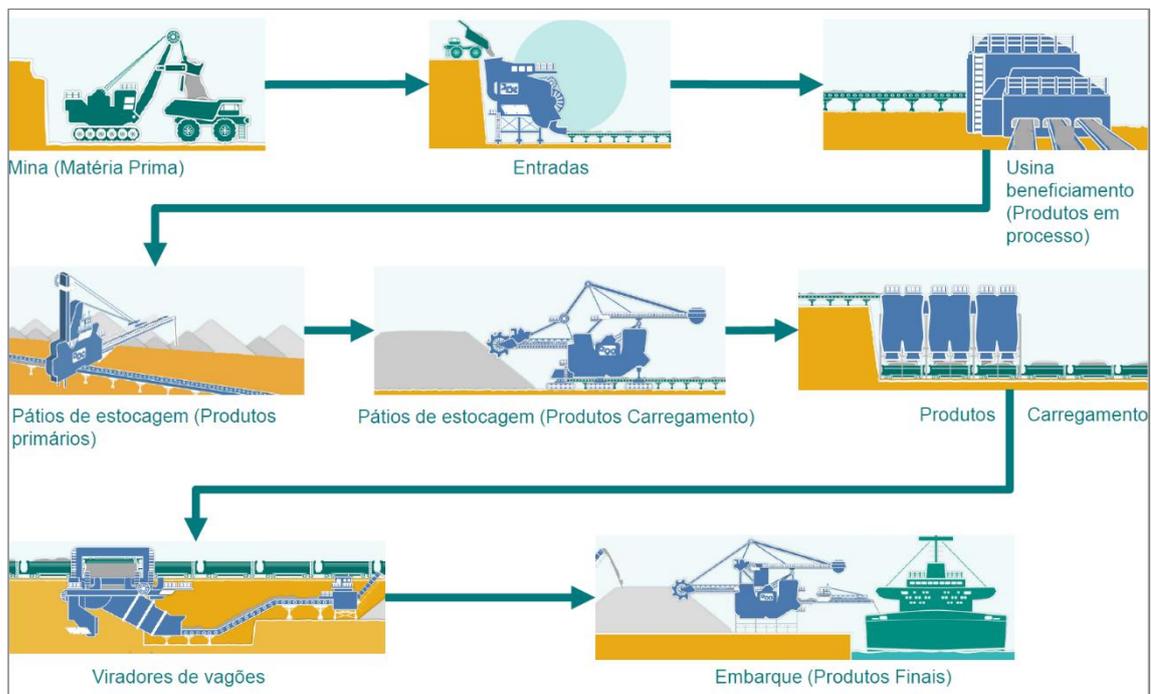
1 INTRODUÇÃO

A VALE é atualmente uma das maiores produtoras de minério de ferro, pelotas e ferro níquel do mundo. Com sede no Rio de Janeiro, as operações da empresa, laboratórios de pesquisa, projetos e escritórios estão presentes nos cinco continentes.

O minério de ferro produzido no Brasil pela VALE, é enviado para seus clientes em todo o mundo através de um sistema de logística, incluindo vias férreas, portos e centros de distribuição operados pela companhia e seus parceiros.

A produção do minério de ferro, atualmente é composta por três grandes sistemas de produção, denominados por Corredores, onde compreendem: Corredor Norte, Sul e Centro-oeste. As reservas geológicas de minério de ferro de Carajás, município de Parauapebas, Pará, abrangem um total de 6.564 milhões de toneladas e seus principais eixos de exploração são: Serra Norte, Leste e Sul (FORM 20-F VALE, 2018). Na Figura 1, a seguir, temos o fluxograma de produção da VALE, onde podemos visualizar a extração do minério nas minas (matéria prima) passando pelas entradas (britagens) e usina de beneficiamento, em seguida o produto é empilhado em pátios de estocagem, na sequência é embarcado através do carregamento e por último passando pelos viradores de vagões e ser embarcado em navios até os clientes.

Figura 1: Fluxograma de produção VALE S/A



Fonte: GÓES, F. Qualidade do Produto. Slide 53. (VALE S/A, 2018).

Na Figura 2, a seguir, temos a ilustração da produção de minério de ferro em Carajás. Todo o minério produzido na Mina de Carajás (Sistema Norte), Mina S11D (Serra Sul) e Mina de Serra Leste é exportado por um sistema que integra minas, usinas, ferrovia e porto. Após a fase de lavra e processamento mineral, o produto é transportado em vagões através da Estrada de Ferro Carajás até o Terminal Marítimo Ponta da Madeira (TMPM), em São Luís, Maranhão. Carajás é a maior operação da Vale. É também considerada como o maior produtor de minério de alto teor de ferro e mínima concentração de contaminantes do mundo.

Figura 2: Mapa regional Pará/Maranhão



Fonte: Carajás *Update*), Slide 8. (VALE S/A, 2020).

Na Figura 3, a seguir, temos as áreas de produção do minério de ferro no Estado do Pará, compreendendo os três sistemas de produção da Vale (Serra Norte, Leste e Sul) e suas respectivas minas de exploração mineral.

Figura 3: Áreas de Produção do Minério de Ferro no Estado do Pará



Fonte: Carajás Update, Slide 10. (VALE S/A, 2020).

Carajás hoje é a maior produtora de minério de ferro no Brasil, com capacidade instalada nos patamares de 150 milhões de toneladas por ano. Todo o minério beneficiado na usina, é estocado em seis pátios operacionais e expedido através de quatro silos de carregamento para o porto no Terminal Marítimo Ponta da Madeira (TMPM), em São Luís/MA pela Estrada de Ferro Carajás. A produção de aproximadamente 150 Mta (milhões de toneladas por ano) somado a outros fatores como chuva, condição de pátios e minério hidratado, contribui para eventos de escorregamento e deslizamento de pilhas de produtos.

Na Figura 4, a seguir, temos a visão aérea dos pátios de estocagem em Carajás/PA, onde possui 6 (seis) pátios de produtos compreendidos pelas Usinas 1 e 2, onde na Usina 1 são os pátios A, B, C e D e na usina 2 temos os pátios G e H, podemos também visualizar o embarque do minério através dos silos 1, 2, 3 e 4. A capacidade total dos pátios são diferentes conforme o período sazonal (seco e chuvoso), onde no período chuvoso as pilhas são formadas com altura menor em relação ao período seco, onde obviamente temos uma menor capacidade. A capacidade de estoque nos pátios são aproximadamente 1,84 milhões de toneladas no período seco e 1,55 milhões de toneladas no período chuvoso.

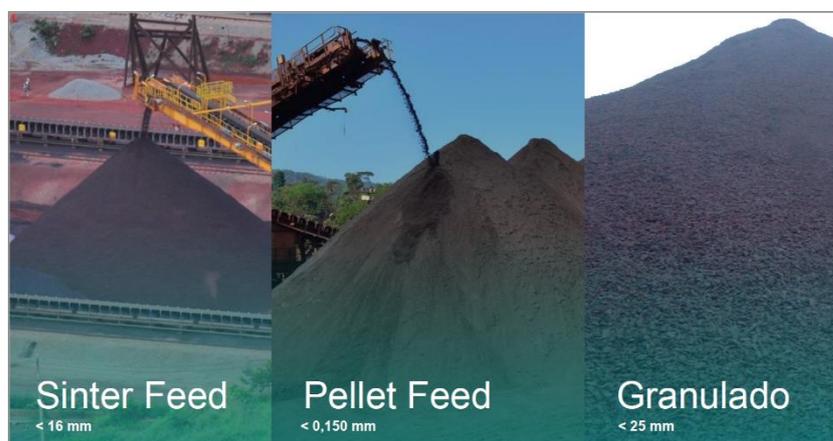
Figura 4: Vista aérea dos Pátios



Fonte: Apresentando Pátio de Estocagem, Slide 27. (VALE S/A., Carajás, 2018).

Na Figura 5, a seguir, ilustra o produto processado nas usinas de beneficiamento em Carajás/PA, onde são produzidos três produtos a saber: *Sinter Feed*, *Pellet Feed* e Granulado, onde representam 90,7%, 5,5% e 3,8% respectivamente os percentuais da produção anual. A faixa de tamanho dos produtos para o *Sinter Feed* menor que 16 mm, *Pellet Feed* menor que 0,150 mm e para o Granulado menor que 25 mm.

Figura 5: Produtos minério de ferro em Carajás



Fonte: Carajás Update, Slide 17. (VALE S/A., 2020).

Os pátios de estocagem de Carajás/PA têm como função a manutenção da expedição de minério para o atingimento de produção. Toda essa produção é alcançada de

acordo com a performance operacional dos pátios que para isso devem trabalhar a fim de evitar eventos de deslizamento de pilhas, os quais geram perda de produção/impactos na expedição e, em casos extremo, fatalidades. Por este motivo se faz tão importante a regulamentação das alturas das pilhas baseada no seu fator mais crítico: teor de umidade. Na Figura 6, a seguir, temos a visão aérea da Usina de beneficiamento, pátios de produtos A, B, C e D e embarque do minério em Carajás.

Figura 6: Vista aérea dos Pátios em Carajás



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

A operação dos pátios de estocagem em Carajás compreende três etapas. A primeira etapa é o Empilhamento (formação das pilhas), a segunda é a Expedição (recuperação das pilhas) e a terceira e última etapa é o Carregamento (carregamento de vagões), conforme ilustra a Figura 7, a seguir. Estas etapas estão diretamente ligadas e comunicam-se diretamente, onde os processos subsequentes dependem da etapa anterior, ou seja, se no processo de Empilhamento houver falhas e desvios gerados como por exemplo: má formação de pilhas, o processo de Expedição sofrerá consequências como a baixa produtividade nas recuperadoras, tempo elevado em mudanças de pilhas, dentre outros, acarretando impactos e afetando diretamente a toda a produtividade do circuito de embarque, gerando alto tempo para se carregar os trens no terminal.

Figura 7: Etapas do processo – Pátios de Estocagem Carajás



Fonte: Apresentando Pátio de Estocagem, slide 24. (VALE S/A., Carajás, 2018).

Em todo o processo mineral nos pátios de estocagem em Carajás, busca dentro da operação, a sinergia entre as etapas processuais de produção, de modo a trazer um equilíbrio com o menor impacto possível dentro da cadeia produtiva. Importante salientar que é nos pátios de estocagem onde realiza a homogeneização final do produto, onde se busca uma pilha bem empilhada e bem recuperada.

2 JUSTIFICATIVA

As perdas e os impactos causados por deslizamentos de pilhas de produtos trazem sérias consequências materiais afetando diretamente a produção, máquinas e equipamentos, como também danos pessoais capazes de gerar uma ou mais fatalidades.

A demanda crescente por processos otimizados, com maior produtividade, redução de custos e controles eficientes para a estabilização de pilhas de minério é o principal motivo para que todos os envolvidos do processo passem a procurar por novas referências que visem garantir a estabilização de pilhas, além disso, este trabalho suportará na tomada de decisão gerencial em relação às medidas de controle visando principalmente a segurança do processo.

3 OBJETIVO

Para este trabalho foram levantados os objetivos: geral e específicos, descritos a seguir.

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal deste trabalho é realizar o estudo de parâmetros para controle e estabilização em pilhas de minério na unidade operacional em Carajás, Pará.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar uma análise da altura de pilhas e teor de umidade a fim de garantir que, se houver o rompimento da pilha, ela ficará contida dentro do limite estabelecido no pátio, tendo como base fatores de segurança para estabilidade;
- Aplicar um modelo de gerenciamento com o foco em resultados sustentáveis, por meio da implementação profunda e abrangente de políticas e práticas, as quais viabilizem operações seguras e ambientalmente responsáveis, além da integridade dos ativos.

3.3 RESULTADOS ESPERADOS

Contribuir com a empresa, por meio de controles eficientes de maneira a mitigar e prevenir incidentes com deslizamentos de pilhas de minério, uma vez que estes controles são extremamente cruciais para uma operação segura e eficiente.

Entender que a formação de pilhas deverá seguir uma sistemática regida através de controles de altura das pilhas, baseados em teor de umidade, saturação da água e fator de segurança, o que trará maior segurança nas operações e possibilitará a otimização do processo.

Aplicar o gerenciamento através de controles e indicadores que sustentem e mantenham o todo o processo mineral em conformidade, de modo a ter todo o processo em pleno funcionamento com os orçamentos previstos sem impactar nos indicadores de produtividade e números de produção.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 TEOR DE UMIDADE

Definido como o Peso da Água (P_a) contida em uma amostra dividido pelo peso seco das Partículas Sólidas (P_s) do minério, sendo expressa em percentagem como pode ser visto na Equação 1, a seguir. Para determinação do Peso Seco, o método tradicional é a secagem em estufa, na qual a amostra é mantida com temperatura entre 105 °C e 110 °C, até que apresente peso constante, o que significa que ela perdeu a sua água por evaporação. O peso da água (P_a) é determinado pela diferença entre o peso da amostra (P) e o peso seco (P_s).

Equação 1: Fórmula para cálculo de teor de umidade

$$h = \frac{P - P_s}{P_s} \cdot 100 = \frac{P_a}{P_s} \cdot 100$$

Fonte: Adaptado da Norma ABNT NBR 6457/2016.

4.2 GRAU DE SATURAÇÃO

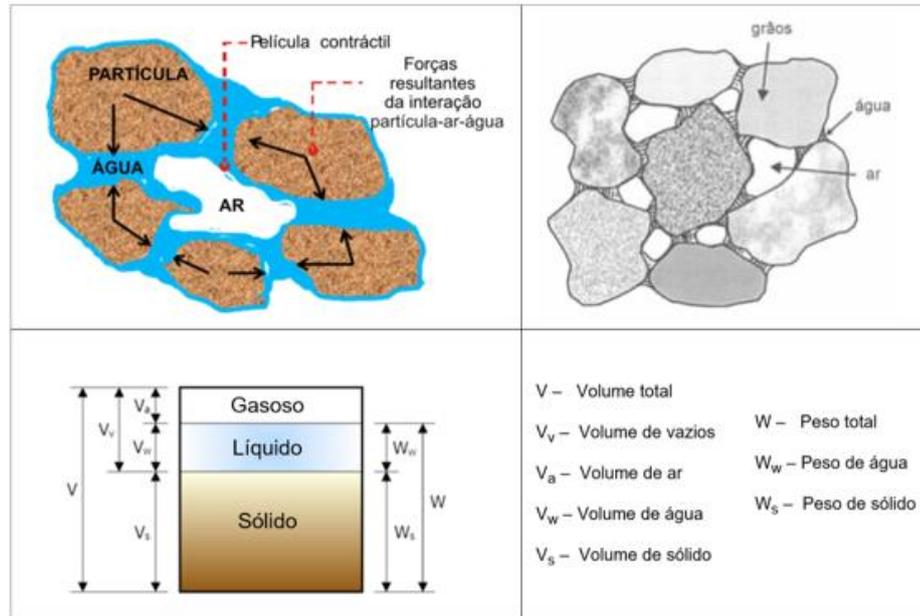
Dado pela razão do Volume de Água (V_a) e pelo Volume de Vazios (V_v), trata-se da percentagem de água contida nos vazios de um solo. Figura 8: Esquema de preenchimento de espaços vazios por água. Figura 9: Desenho esquemático de processo de saturação de água em sólidos granulados. Este índice físico também pode ser definido pela Equação 2: Fórmula para determinação de Grau de Saturação (S). E ser classificado conforme a Tabela 1: Classificação do grau de saturação (IAEG, 1974).

Equação 2: Fórmula para determinação de Grau de Saturação (S)

$$S = \frac{V_a}{V_v} \cdot 100$$

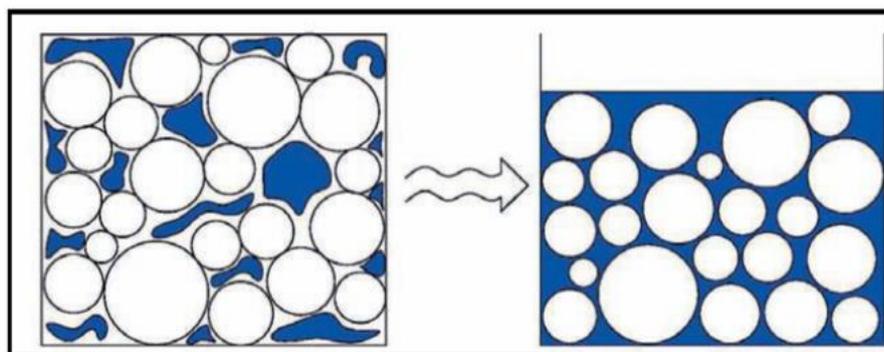
Fonte: BUENO, B. S., VILAR, O. M., 1979, p. 11.

Figura 8: Esquema de preenchimento de espaços vazios por água



Fonte: Adaptado de PINTO, 2000, p. 34; BUENO, B.S.; VILAR, O. M, 1979, p. 10.

Figura 9: Desenho esquemático de processo de saturação de água em sólidos granulados



Fonte: ISIAK COLAK, C. T.; SATIR, T., 2014, p. 2.

Tabela 1: Classificação do grau de saturação (IAEG, 1974)

Grau de Saturação (%)	Denominação
0,0 - 0,25	Naturalmente seco
0,25 - 0,50	Úmido
0,50 - 0,80	Muito úmido
0,80 - 0,95	Altamente saturado
0,95 - 1,00	Saturado

Fonte: Adaptado de IAEG, Índices Físicos, Slide 5, 1974.

Para ocorrer a ruptura da pilha é necessário que o minério empilhado tenha quantidade de água suficiente para produzir a ascensão da freática até uma altura crítica. Quanto maior a saturação do minério, maior a quantidade de água na pilha e, dessa forma, maior a ascensão da freática. Para garantir a segurança das pilhas, o grau de saturação deve estar abaixo de 60%. (Fator de segurança entre 1,2 e 1,3). Neste grau de saturação o teor de umidade, aproximado, da pilha é de 9,7%; este valor pode ser alterado pelo grau de compactação e empolamento da pilha, além de fatores como teor de umidade do minério, chuva e tipo de litologia mineral formadora do produto.

Tabela 2: Correlação entre grau de saturação e teor de umidade de minério de ferro em pilhas de produtos

Saturação (%)	Teor de umidade (%)
30	7,1
40	8,0
50	8,8
60	9,7
70	10,2
80	12,1
100	12,4

Fonte: Relação de altura de pilha x umidade do minério (VALE S/A., 2015, p. 11).

4.3 FATOR DE SEGURANÇA – ESTABILIDADE DE TALUDES (PILHAS)

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é o Foro Nacional de Normalização para normas técnicas, no caso a ABNT NBR 11.682/2009 (Estabilidade de Encostas) especifica os estudos relativos a estabilidade de encostas e as minorações dos efeitos de sua instabilidade em áreas específicas, objetivando a definição das intervenções a serem

analisadas e discriminando os procedimentos necessários para garantia da estabilidade das encostas/taludes/pilhas.

Os fatores de segurança (FS) considerados nesta Norma tem a finalidade de cobrir as incertezas naturais das diversas etapas envolvidas em um processo de empilhamento. Dependendo dos riscos envolvidos, deve-se inicialmente enquadrar as pilhas em uma das seguintes classificações de nível de segurança, definidas a partir da possibilidade de perdas de vidas humanas e de danos materiais e ambientais (ABNT NBR 11.682/2009), conforme pode ser visto nos Quadros 1 e 2, a seguir.

Quadro 1: Nível de segurança desejado contra a perda de vidas humanas

Nível de segurança	Critérios
Alto	Áreas com intensa movimentação e permanência de pessoas, como edificações públicas, residenciais ou industriais, estádios, praças e demais locais, urbanos ou não, com possibilidade de elevada concentração de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego intenso
Médio	Áreas e edificações com movimentação e permanência restrita de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego moderado
Baixo	Áreas e edificações com movimentação e permanência eventual de pessoas Ferrovias e rodovias de tráfego reduzido

Fonte: Adaptado da Norma ABNT NBR 11.682/2009.

Quadro 2: Nível de segurança desejado contra danos materiais e ambientais

Nível de segurança	Critérios
Alto	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de alto valor histórico, social ou patrimonial, obras de grande porte e áreas que afetem serviços essenciais Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais graves, tais como nas proximidades de oleodutos, barragens de rejeito e fábricas de produtos tóxicos
Médio	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor moderado Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais moderados
Baixo	Danos materiais: Locais próximos a propriedades de valor reduzido Danos ambientais: Locais sujeitos a acidentes ambientais reduzidos

Fonte: Adaptado da Norma ABNT NBR 11.682/2009.

O fator de segurança mínimo a ser adotado, levando-se em conta os níveis de segurança, está demonstrado na Tabela 3. Os fatores de segurança indicados nesta tabela referem-se às análises de estabilidade interna e externa da pilha. Entende-se por estabilidade

interna aquela que envolve superfícies potenciais de escorregamento localizadas, a serem estabilizadas por estruturas de contenção.

Tabela 3: Fatores de segurança mínimos para deslizamento

Níveis de Segurança		Contra danos a vida humana		
		Alto	Médio	Baixo
Contra danos materiais e ambientais	Alto	1,5	1,5	1,4
	Médio	1,5	1,4	1,3
	Baixo	1,4	1,3	1,2

Fonte: Adaptado da Norma ABNT NBR 11.682/2009.

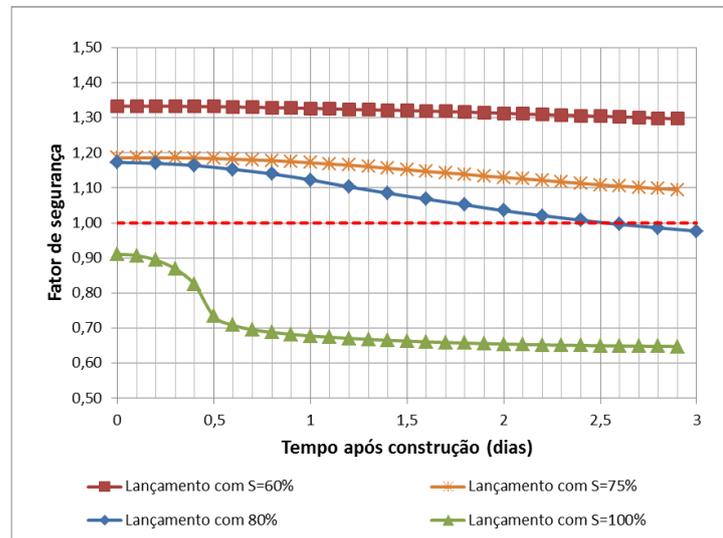
O fator assumido pela Gerência de Geotecnia e Hidrogeologia do Corredor Norte, em conjunto com a Gerência de Engenharia Usinas de Carajás, foi de 1,3, o qual considera um baixo risco de segurança contra danos a vida humana e médio risco de segurança contra danos materiais e ambientais. Sabemos que o fator de segurança abaixo de 1,0 o material se liquefaz, entra em processo de liquefação, ou seja, tem uma probabilidade muito grande de se romper. Então, ele deve estar acima de 1,0 foi o que buscamos em consenso com as áreas de Geotecnia e Engenharia Usinas de Carajás.

4.4 CORRELAÇÃO ENTRE FATOR DE SEGURANÇA E GRAU DE SATURAÇÃO

No ano de 2015 foram realizados estudos de estabilidade das pilhas de Carajás, separadas por usinas, e foi apontado que para ocorrer ruptura de pilha é preciso que o minério empilhado apresente quantidade de água o suficiente para produzir ascensão da freática até uma altura crítica. Foi observado que, quanto maior a saturação do minério, maior a quantidade de água na pilha e maior a ascensão da água. Neste processo não ocorre a expulsão da água mesmo estando saturado, devido a litologia do minério onde possui característica efeito esponja, em reter água.

Conforme observado no item 4.3, o fator de segurança mínimo adotado para evitar deslizamento de pilhas de minério foi de 1,3. Como mostrado no gráfico abaixo a saturação necessária para atingimento do fator de segurança é de 60%. Pilhas que contêm maior grau de saturação apresentam redução do fator de segurança, dessa forma ocorre maior instabilidade gerando maiores probabilidades de ruptura de pilhas.

Gráfico 1: Comportamento de pilhas com diferentes graus de saturação, relacionado a fator de segurança e tempo após construção das pilhas

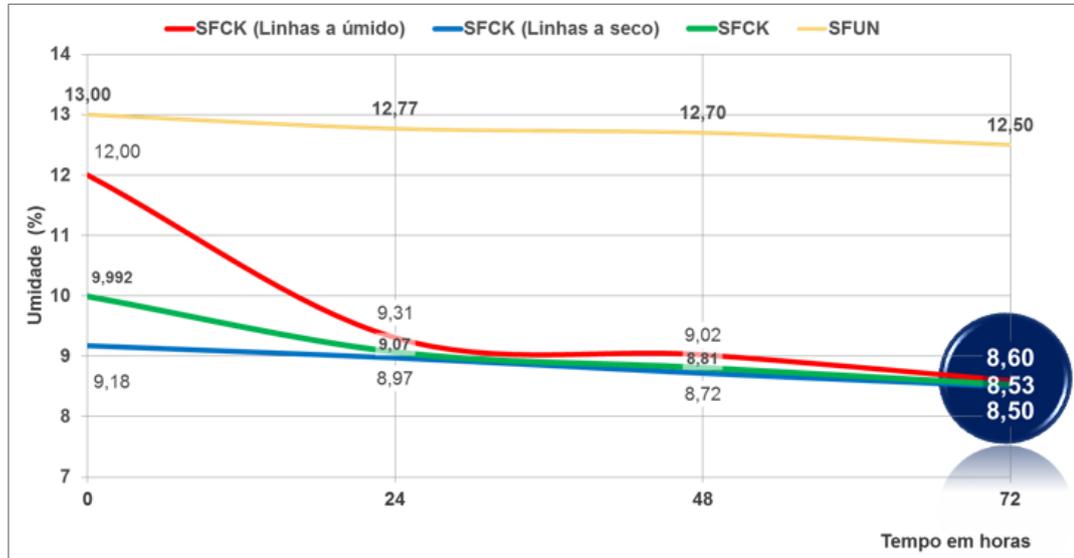


Fonte: GÓES, 2015c – In Deslizamento de pilhas de IOCJ - OITA ... (VALE S/A., Carajás, 2015, p. 34).

No ano de 2015 foi realizada uma série de estudos e testes, os quais comprovaram que o *sinter feed* processado à umidade natural apresenta grande dificuldade de migração de água, devido à grande quantidade de material fino junto ao material grosseiro que compõem o produto, gerando um produto de granulometria heterogênea, sendo essa característica que reduz a permeabilidade do leito.

No Gráfico 2, a seguir, temos o comportamento dos tipos de *sinter feed* (processo a seco e a úmido), evidenciando a capacidade de drenabilidade destes produtos, onde pode-se observar que o *sinter feed* umidade natural (SFUN) perde-se pouca umidade ao longo de três dias em relação ao *sinter feed* processado a úmido, isto devido a litologia do minério que apresenta elevado percentual de argilominerais e de porosidade que ajudam no processo de absorção e retenção de água.

Gráfico 2: Comportamento dos tipos de *sinter feed* (processo a seco e a úmido), evidenciando a capacidade de drenabilidade destes produtos

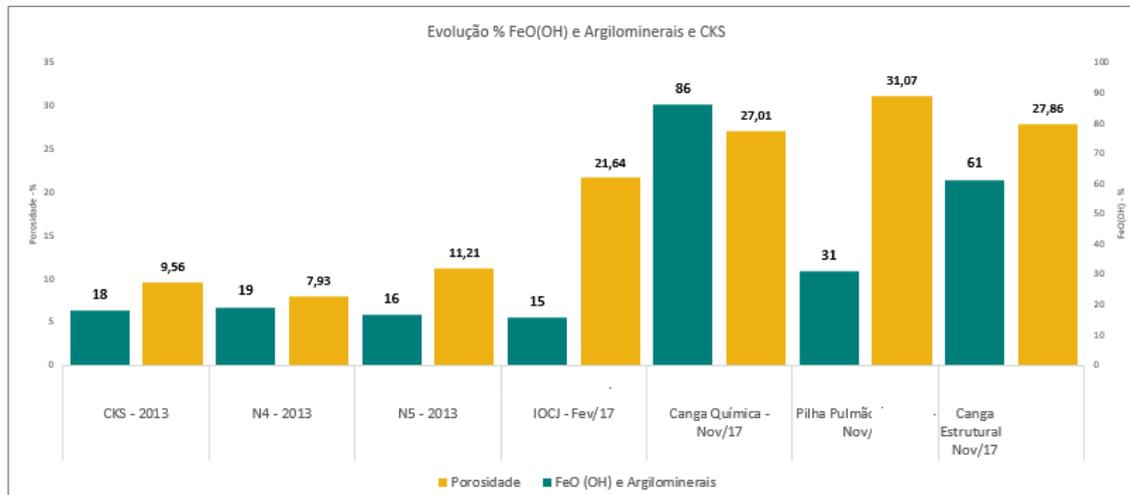


Fonte: GÓES, 2015a. Aspectos de manuseio do minério de ferro de Carajás e TML (VALE S/A., Slide 46, Carajás, 2015).

Atualmente, além do tipo de processamento mineral, em Carajás tem sido utilizado em média, nas usinas, aproximadamente, 25% de material hidratado (canga). As cangas apresentam elevado percentual de argilominerais e de porosidade que ajudam no processo de absorção e retenção de água, dificultando ainda a permeabilidade do leito.

No Gráfico 3, a seguir, observamos com o passar dos anos, o tipo de minério em Carajás veio se alterando suas características por ser um minério com alta presença de Goethita e Limonita. Observamos que o ROM (*Run Of Mine*) de Carajás sofreu alterações ao longo dos anos, ou seja, muito com a presença de goethita e limonita. Não se não tinha esse entendimento antes, visto que todo o processo de beneficiamento e pátios de produtos foram projetados pensando 100% em hematita (óxido de ferro) e hoje observamos que a hematita está com 50% (hidróxido de ferro) por isso foi necessário realizar este estudo.

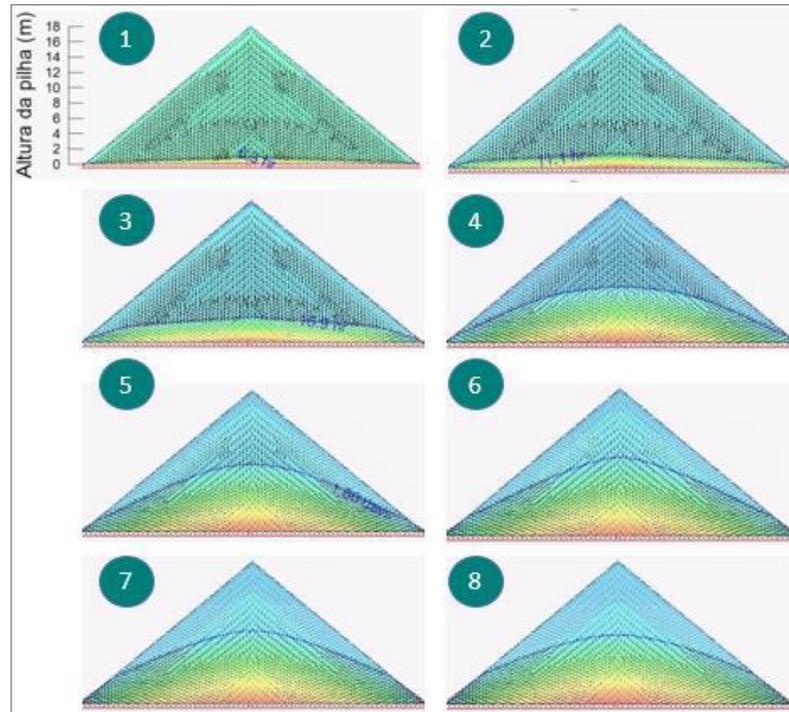
Gráfico 3: Evolução do percentual de argilominerais mais hidróxido de ferro e de porosidade no *sinter feed* produzido em Carajás



Fonte: GÓES, 2017. Estudo da variabilidade do peso médio dos vagões e sua correlação com o comportamento fluído do minério de ferro (VALE S/A., slide 8, Carajás, 2017).

O leito das pilhas de *sinter feed* produzido apresenta baixa permeabilidade, dificultando a drenagem das pilhas de produtos. Por este motivo, quando o *sinter feed* é produzido apresentando teor de umidade acima de 9,7% (saturação de 60%), a migração de água é afetada devido a impossibilidade de seu deslocamento até a base da pilha para posterior drenagem. Ao contrário, a água apresenta tendência de se acumular na base da pilha e aumentar a saturação neste local. À medida que o acúmulo de água aumenta, a freática da pilha começa a se deslocar para partes superiores no interior dela, o que causa instabilidade na pilha já que, dessa forma, o centro de massa da pilha se desloca. Na Figura 10, a seguir, é possível observar que a base da pilha se encontra com uma saturação superior à do resto da pilha; neste ponto pode ocorrer o processo de liquefação dos sólidos, que é capaz de gerar a ruptura da pilha.

Figura 10: Evolução da freática de uma pilha formada com saturação de água superior a 60%.

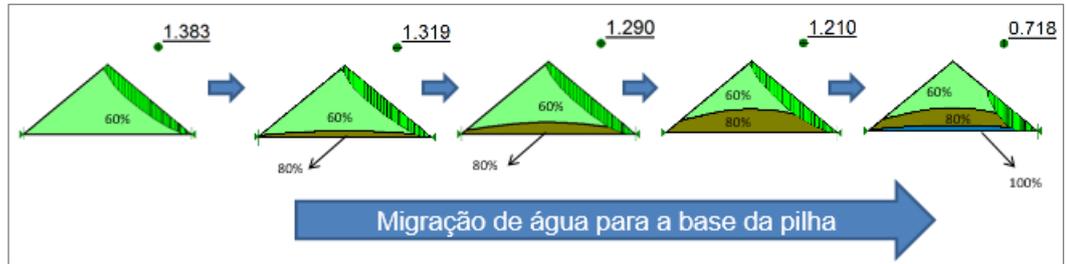


Fonte: Avaliação geotécnica para pilhas de minério de Ferro (VALE S/A., slide 18 modificado, Carajás, 2015).

Conforme apresentado nas pilhas de produtos (*sinter feed*) de Carajás, ocorre a elevação da freática que é capaz de gerar instabilidade nestes corpos. Os estudos geotécnicos realizados nessas pilhas mostram a tendência de mudança do fator de segurança quando correlacionado à condição de elevação da freática e aumento do grau de saturação de água na base das pilhas. Neste estudo, foi observado que, quanto mais elevada a freática, maior a quantidade de água em partes superiores da pilha e maior o grau de saturação na base dela. Estes dois fatores somados geram a redução do fator de segurança, que é visto pelo processo de ruptura da pilha através do deslocamento de massa em uma de suas faces.

Importante salientar que, como informado no item 4.3, pilhas que apresentam fator de segurança inferior a 1,3 correm sérios riscos de sofrer ruptura.

Figura 11: Evolução do fator de segurança correlacionado à elevação da freática e aumento de grau de saturação de água de pilha de *Sinter Feed*



Fonte: GÓES, 2015b - Avaliação geotécnica para pilhas de minério de Ferro (VALE S/A., slide 14, Carajás, 2015).

5 METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado para composição deste trabalho foi a utilização do simulador *Software Slide (Rocscience)*, para simulação da altura de pilhas de produtos relacionado ao fator de segurança de 1,3. Durante o período seco foi considerado grau de saturação de, aproximadamente, 30%. Foi utilizado ângulo de repouso de 38 graus para as pilhas de produto. Para simulação da altura de pilhas de produtos relacionados ao fator de segurança de 1,3, durante o período chuvoso foi considerado grau de saturação de, aproximadamente, 60%.

Foram feitas as simulações através do *software slide*, que determina o fator de segurança mediante a altura e grau de saturação da pilha. O grau de saturação foi calculado de acordo com o teor de umidade do minério considerando que o parâmetro de entrada no simulador é usado no *software slide* o grau de saturação, sendo o outro a altura. Através destes dados o *software* avalia o fator de segurança.

Através da utilização do *Software Slide* foram criados cenários de simulação de massa rompida, a fim de saber qual o fator de segurança melhor, e onde não se rompe o fator de segurança melhor.

Conforme o Comitê de Gestão de Pátios do Corredor Norte, foi definida a caracterização dos deslizamentos de pilhas como: **Crítico** e **Não Crítico**. A Figura 12, a seguir, apresenta estes dois exemplos de desmoronamentos, onde o foco deste trabalho é para que não aconteça os eventos críticos.

Figura 12: Classificação de Deslizamento de pilhas



Fonte: Report de deslizamentos - TMPM (VALE S/A., slide 2, 2019).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES - SIMULAÇÃO DE CENÁRIOS PROBABILÍSTICOS DE MASSA ROMPIDA

6.1 ALTURA DE PILHAS, TEOR DE UMIDADE, GRAU DE SATURAÇÃO E FATOR DE SEGURANÇA

A gerência de hidrogeologia e geotecnia do Corredor Norte realizou uma sequência de estudos, cujo objetivo foi avaliar o fator de segurança das pilhas de minérios dos pátios de estocagem de Carajás. Neste estudo foi considerado o grau de saturação do minério em relação as geometrias apresentadas nos levantamentos topográficos.

Como premissas de estudo foi definido que os parâmetros de coesão, densidade e ângulo de atrito do minério seriam estimados em análise dos estudos de avaliação de segurança dos taludes dos pátios de estocagem de Carajás e dos ensaios no estudo de Avaliação geotécnica para pilhas de minério de Ferro (GÓES, 2015). O grau de saturação da pilha de produto foi estimado utilizando o parâmetro r_u para representação das poropressões e utilizando-se como base para calibração do parâmetro, análises de sensibilidade associadas às análises de estabilidade realizadas no estudo acima citado em relação a literatura disponível.

O parâmetro r_u representa a geração de poropressões durante o processo construtivo de taludes, e apresenta relativa precisão para análises de estabilidades de taludes (PEREIRA; ÁVILA; LIMA, 2005). Este parâmetro foi utilizado devido à ausência de análises mais precisas para determinações de poropressões. Empiricamente calcula-se o parâmetro r_u através de instrumentação, porém este parâmetro pode ser relacionado com os mais variados tipos de materiais.

Tabela 4: Valores típicos do parâmetro r_u (ASSIS 2003)

Material	r_u
Enrocamento	0
Arenoso fino e grosso	0,05 a 0,15
Argilosos	0,2 a 0,45
Argilas orgânicas	0,5 a 0,8

Fonte: ASSIS; HERNANDEZ; COLMANETTI, 2003, s.p.

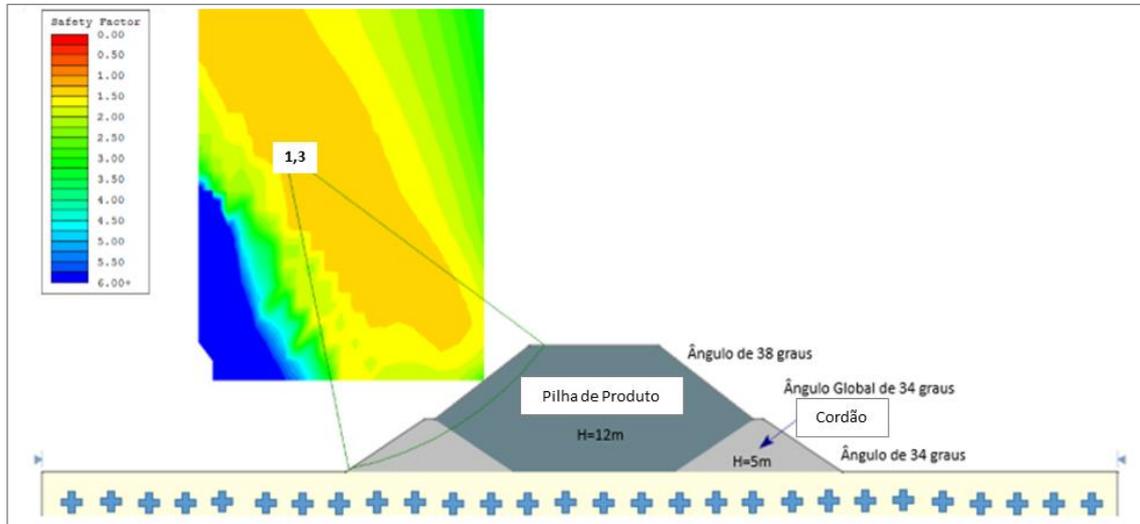
A correlação entre o grau de saturação e o teor de umidade das pilhas foi de responsabilidade da gerência de engenharia usinas Carajás. As alturas e geometrias estudadas para as pilhas de minério, foram retiradas de levantamentos topográficos realizados durante os períodos seco e chuvoso e depois foram validadas com a gerência de operação de estocagem e expedição. Como informado no item 4.3, o fator de segurança admissível foi igual a 1,3 conforme a NBR 11.682/2009. Para usina 1 foram utilizados os dados relacionados ao grau de saturação presente na Tabela 2: Correlação entre grau de saturação e teor de umidade de minério de ferro em pilhas de produtos. Já na usina 2 foram considerados de 15 a 20% de grau de saturação para o período seco e 40% para o período chuvoso.

6.1.1 Simulação: Altura de pilha e fator de segurança para Usina 1 – período seco

Conforme a Figura 13, a seguir, foi realizado a simulação da altura de pilhas de produtos relacionado ao fator de segurança de 1,3. Durante o período seco foi considerado grau de saturação de, aproximadamente, 30%. Foi utilizado ângulo de repouso de 38 graus para as pilhas de produto e de 34 graus para as pilhas cordão, gerando um ângulo global de, aproximadamente 34 graus. A altura considerada para a pilha cordão foi de 5 metros.

Com base nestes fatores, a simulação indicou que a altura, máxima das pilhas de produtos no período seco deve ser de 12 metros, conforme ilustra a Figura 13 abaixo. Essa altura deverá ser utilizada para as pilhas de *sinter feed* empilhadas nos pátios A, B, C e D.

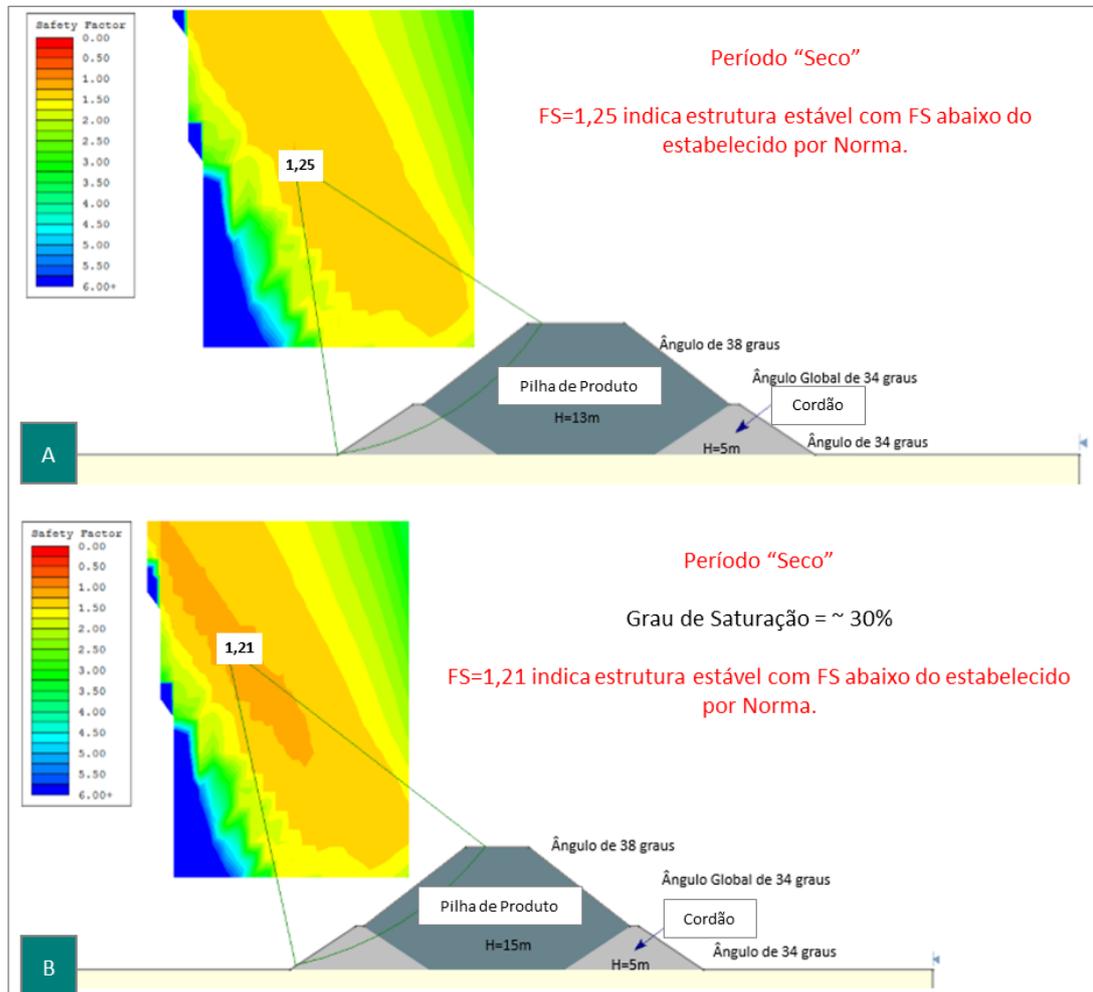
Figura 13: Simulação de altura de pilha de produto de *sinter feed* utilizando fator de segurança de 1,3 (segundo norma ABNT 11.682/2009) com 30% de saturação de água. Altura de pilha: 12 metros.



Fonte: Relação de altura de pilha x umidade do minério (VALE S/A., 2015, p. 21).

Também foram simuladas pilhas de produto com alturas de 13 e 15 metros, essas pilhas apresentaram estabilidade com fator de segurança de 1,21 e 1,25, respectivamente, abaixo do estabelecido por norma. Dessa forma, as pilhas de produto de *sinter feed* de Carajás não podem ser confeccionadas com altura superior à de 12 metros no período seco, conforme ilustra a Figura 14, a seguir.

Figura 14: Simulação de fator de segurança (segundo Norma 11.682/2009) variando altura de pilha e utilizando grau de saturação de ~30%. A) - Altura de pilha: 13 metros. B) - Altura de pilha: 15 metros



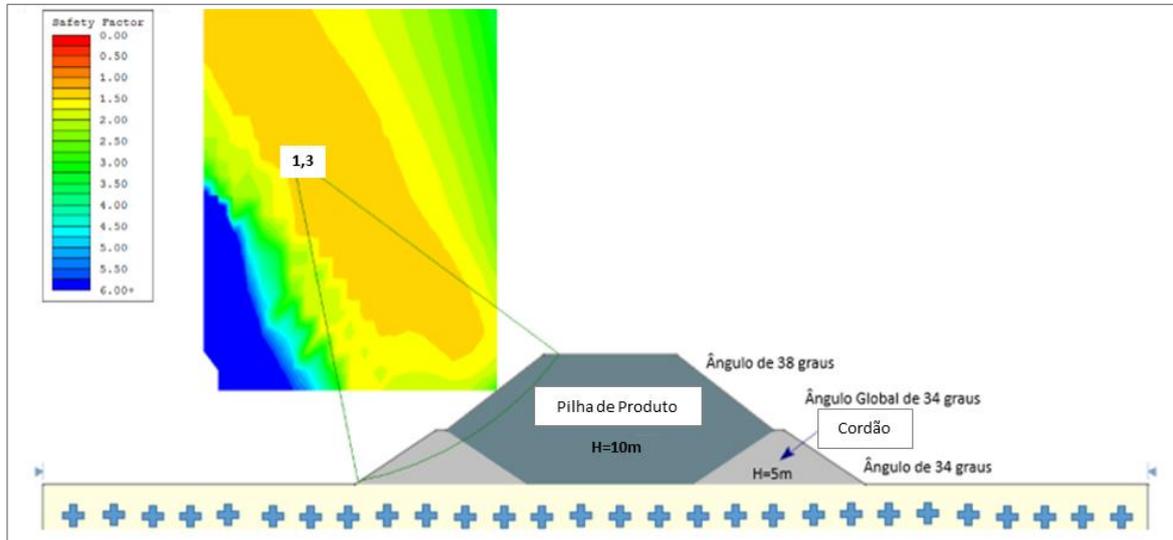
Fonte: Relação de altura de pilha x umidade do minério (VALE S/A., 2015, p. 22).

6.1.2 Simulação: Altura de pilha e fator de segurança para Usina 1 – período chuvoso

Conforme a Figura 15, a seguir, foi realizado a simulação da altura de pilhas de produtos relacionado ao fator de segurança de 1,3. Durante o período chuvoso foi considerado grau de saturação de, aproximadamente, 60%. Foi utilizado ângulo de repouso de 38 graus para as pilhas de produto e de 34 graus para as pilhas cordão gerando um ângulo global de, aproximadamente 34 graus. A altura considerada para a pilha cordão foi de 5 metros.

Com base nestes fatores a simulação indicou que a altura, máxima das pilhas de produtos no período seco deve ser de 10 metros. Essa altura deverá ser utilizada para as pilhas de *sinter feed* empilhadas nos pátios A, B, C e D conforme ilustra a Figura 15, a seguir.

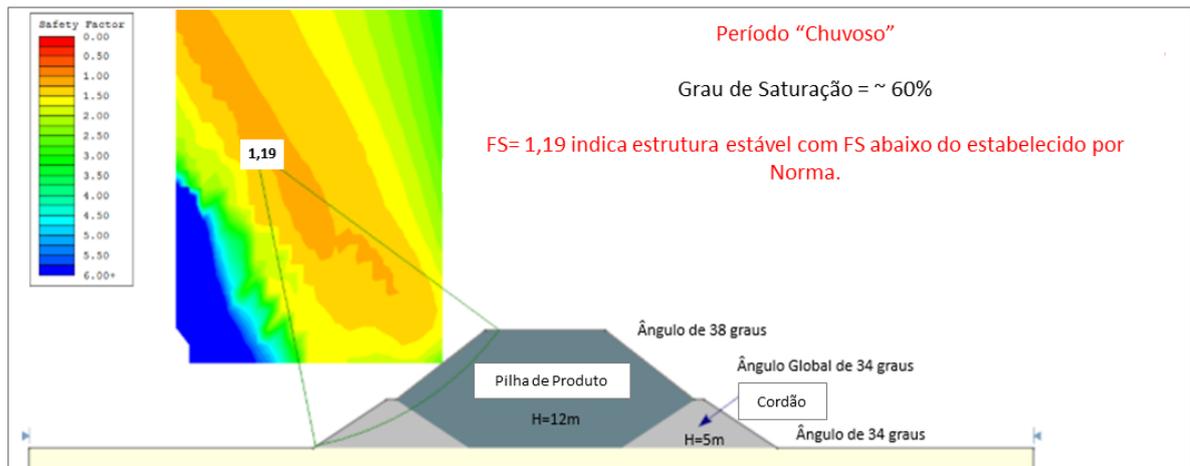
Figura 15: Simulação de altura de pilha de produto de *sinter feed* utilizando fator de segurança de 1,3 (segundo norma ABNT 11.682/2009) com 60% de saturação de água. Altura de pilha: 10 metros.



Fonte: Relação de altura de pilha x umidade do minério (VALE S/A., 2015, p. 23).

Na Figura 16, abaixo, ilustra que foi simulado a pilha de produto com altura de 12 metros, que apresentou estabilidade com fator de segurança de 1,19, abaixo do estabelecido por norma. Dessa forma as pilhas de produto de *sinter feed* de Carajás não podem ser confeccionadas com alturas superiores a 10 metros no período chuvoso.

Figura 16: Simulação de pilha de produto com altura de 12 metros e grau de saturação, aproximadamente, 60% apresentou fator de segurança de 1,19 abaixo do estabelecido por norma. Altura de pilha: 12 metros.



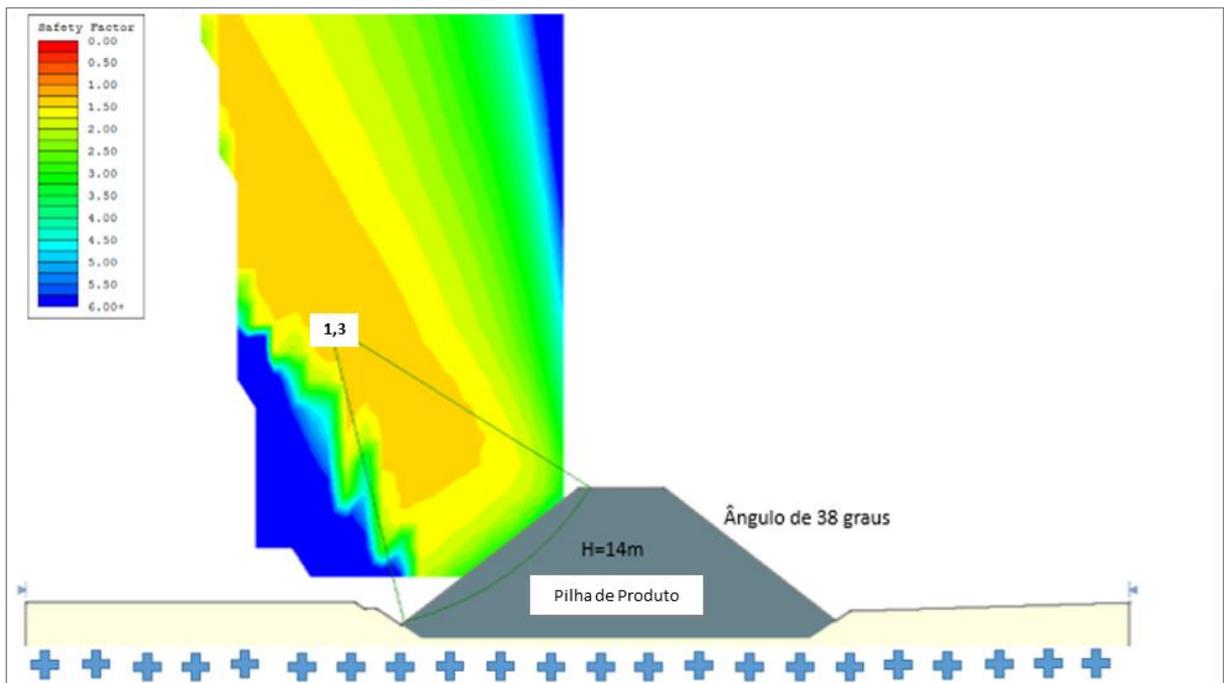
Fonte: Relação de altura de pilha x umidade do minério (VALE S/A., 2015, p. 24).

6.1.3 Simulação: Altura de pilha e fator de segurança para Usina 2 – período seco

Conforme Figura 17, a seguir, foi realizado a simulação da altura de pilhas de produtos da usina 2, relacionado ao fator de segurança de 1,3. Durante o período seco foi considerado grau de saturação de, aproximadamente, 20%. Foi utilizado ângulo de repouso de 38 graus para as pilhas de produto e não foi considerada a utilização de pilha cordão nos pátios G e H.

A simulação indicou que a altura, máxima das pilhas de produtos, SFLS (*Sinter Feed Low Sílica*), no período seco deve ser de 14 metros de altura limite. Essa altura deverá ser utilizada para as pilhas de *Sinter Feed* empilhadas nos pátios G e H.

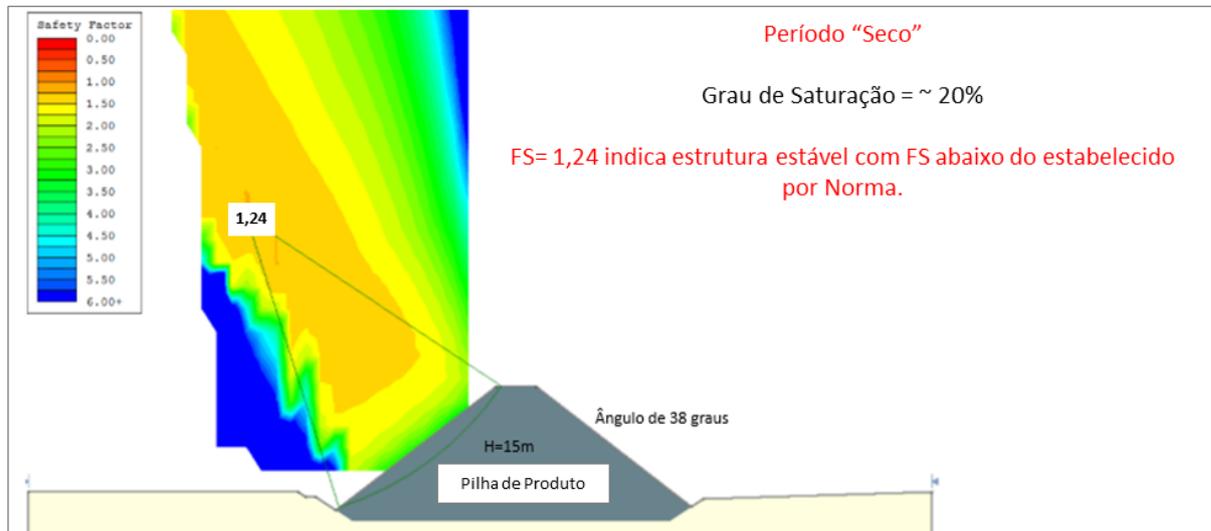
Figura 17: Simulação de altura de pilha de produto de sinter feed utilizando fator de segurança de 1,3 (segundo norma ABNT 11.682/2009) com 20% de saturação de água. Altura de pilha: 14 metros.



Fonte: Relação de altura de pilha x umidade do minério (VALE S/A., 2015, p. 25).

Na Figura 18, a seguir, foi simulado a pilha de produto SFLS (*Sinter Feed Low Sílica*), com altura de 15 metros, que apresentou, na simulação, estabilidade com fator de segurança de 1,24, abaixo do estabelecido por norma. Dessa forma as pilhas de produto de *Sinter Feed* de Carajás, da usina 2 não podem ser confeccionadas com alturas superiores a 14 metros no período chuvoso, nos pátios G e H.

Figura 18: Simulação de pilha de produto com altura de 15 metros e grau de saturação, aproximadamente, 20% apresentou fator de segurança de 1,24 abaixo do estabelecido por norma. Altura de pilha: 15 metros.



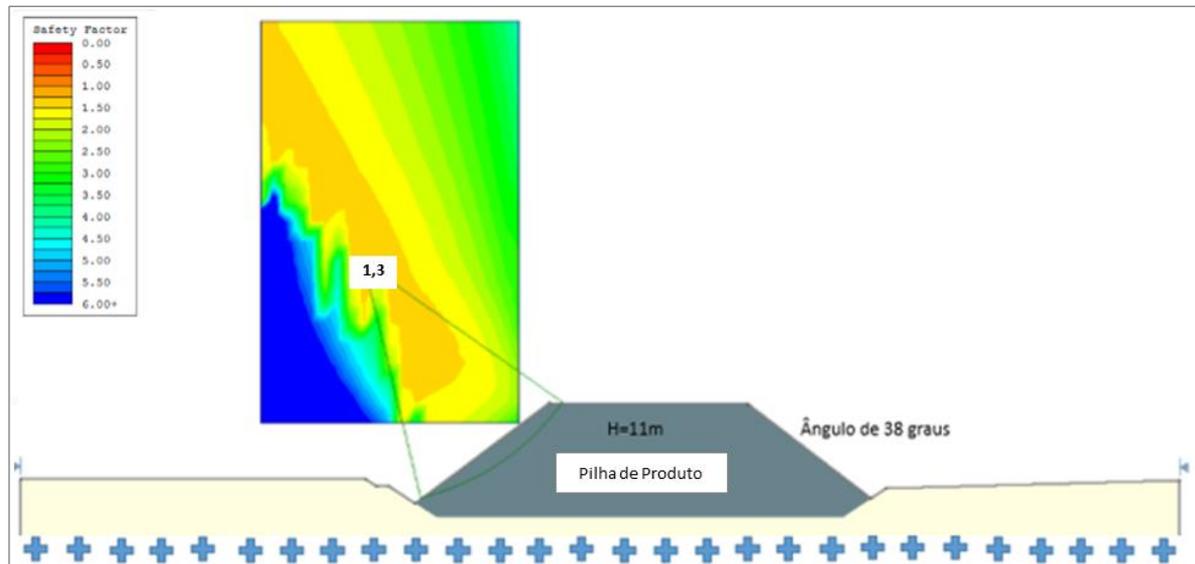
Fonte: Relação de altura de pilha x umidade do minério (VALE S/A., 2015, p. 26).

6.1.4 Simulação: Altura de pilha e fator de segurança para Usina 2 – período chuvoso

Conforme a Figura 19, a seguir, foi realizado a simulação da altura de pilhas de produtos da usina 2, relacionado ao fator de segurança de 1,3. Durante o período seco foi considerado grau de saturação de, aproximadamente, 40%. Foi utilizado ângulo de repouso de 38 graus para as pilhas de produto e não foi considerado a utilização de pilha cordão nos pátios G e H.

A simulação indicou que a altura, máxima das pilhas de produtos, SFLS (*Sinter Feed Low Sílica*), no período seco deve ser de 11 metros de altura limite. Essa altura deverá ser utilizada para as pilhas de *Sinter Feed* empilhadas nos pátios G e H.

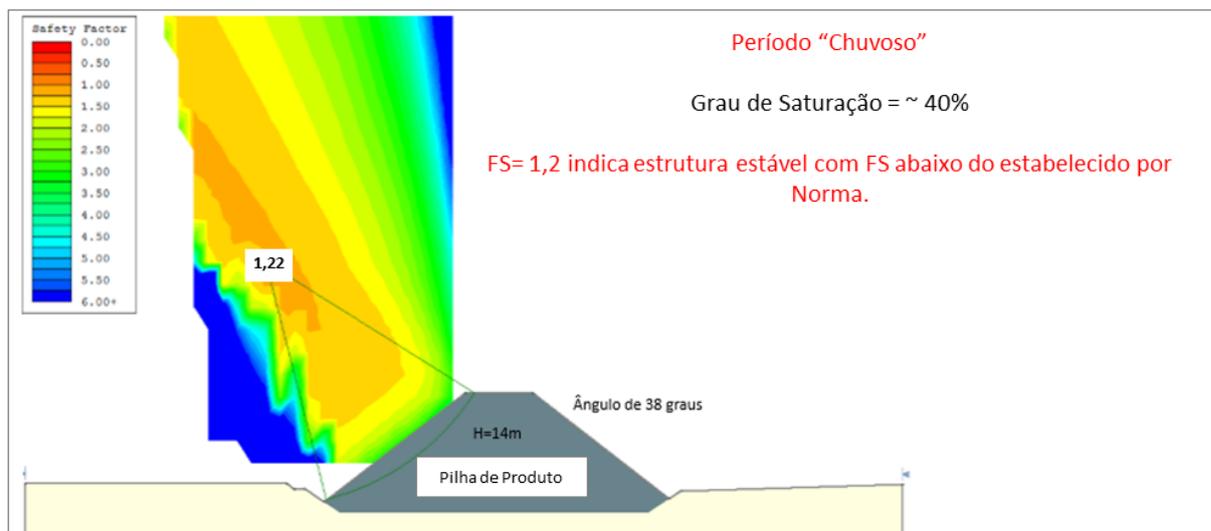
Figura 19: Simulação de altura de pilha de produto de *sinter feed* utilizando fator de segurança de 1,3 (segundo norma ABNT 11.682/2009) com 40% de saturação de água. Altura de pilha: 11 metros.



Fonte: Relação de altura de pilha x umidade do minério (VALE S/A., 2015, p. 27).

Conforme a Figura 20, a seguir, o estudo também realizou simulação de pilha de produto SFLS (*Sinter Feed Low Sílica*), com altura de 14 metros, que apresentou fator de segurança de 1,2, que seria abaixo do estabelecido por norma. Dessa forma as pilhas de *sinter feed* da Usina 2, Carajás, não podem ser formadas com altura superior a 14 metros durante o período chuvoso conforme a Figura 20, abaixo.

Figura 20: Simulação de pilha de produto com altura de 14 metros e grau de saturação, aproximadamente, 40% apresentou fator de segurança de 1,2 abaixo do estabelecido por norma. Altura de pilha: 14 metros.



Fonte: Relação de altura de pilha x umidade do minério (VALE S/A., 2015, p. 28).

6.2 DEFINIÇÃO DE ALTURA DAS PILHAS POR USINA

Através dos estudos de relação entre altura de pilhas e teor de umidade do produto pode ser definida a altura das pilhas de *sinter feed* para os produtos (SFCK) e *Sinter Feed Low Sílica* (SFLS) através da utilização da Norma ABNT NBR 11.682/2009. O Fator utilizado para avaliação da estabilidade das pilhas foi de $FS \geq 1,3$ e as alturas foram definidas baseadas no grau de saturação de água das pilhas. Por este motivo a altura das pilhas foram definidas pelo teor de umidade dos produtos e o período de formação, seco e chuvoso. Importante salientar que o estudo foi realizado por usina, já que o perfil de alimentação de cada usina é diferente, sendo a usina 1 alimentada, oficialmente, com 15% de material hidratado (canga) e a usina 2, aproximadamente 25% de material hidratado (canga); os valores apresentados trata-se de média e por este motivo se comportam com grandes variações ao longo do dia. Além disso, o processo de cada usina também é particular, sendo a Usina 2 100% a umidade natural e a Usina 1, aproximadamente, 65%. Estes fatores conferem comportamento diferente em cada produto.

Foi definido que as pilhas de SFCK (*Sinter Feed* Carajás) na Usina 1, serão construídas com altura de 12 metros no período seco e de 10 metros no período chuvoso. Para o SFLS (*Sinter Feed Low Sílica*) na Usina 2, a altura de construção será de 14 metros no período seco e 11 metros no período chuvoso.

Tabela 5: Altura das pilhas por tipo de produto

Período	SFCK altura (metro)	SFLS altura (metro)
Seco	12,0	14,0
Chuvoso	10,0	11,0

Fonte: Elaboração própria, 2020.

6.3 POR QUE A SEGURANÇA DAS PILHAS É IMPORTANTE?

O desmoronamento/deslizamento de pilhas é um assunto em foco principalmente no período chuvoso visto que o minério está com uma umidade maior, elevando assim o potencial de deslizamento, ou seja, a redução da estabilidade das pilhas com a saturação.

Os danos causados por deslizamentos de pilhas de produtos podem ser materiais (sendo observados impactos de pequeno a grande porte) e pessoais capazes de causar fatalidade. Em alguns casos, o deslizamento das pilhas não pode ser evitado, porém seus impactos podem ser minimizados através da manutenção dos pátios, garantindo áreas de descarga e muros de contenção de material. Na Figura 21, a seguir, ilustram algumas ocorrências de deslizamentos de pilhas.

Figura 21: Deslizamentos em pátios de estocagem



Fonte: Arquivos pessoais do autor, 2020.

Na Figura 22, a seguir, temos um deslizamento onde além de causar danos materiais, culminou no atingimento em um veículo automotor, causando apenas ferimentos leves nos ocupantes. Ocorrência de nível Crítico, onde poderia causar uma ou mais fatalidades.

Figura 22: Deslizamento de pilha podendo causar fatalidade



Fonte: Arquivos pessoais do autor, 2020.

Na Figura 23, a seguir, temos outras ocorrências com pilhas de minério, com danos materiais e estruturais nos transportadores de correia, onde, poderia ter ocasionado uma ou mais fatalidades.

Figura 23: Deslizamento de pilhas



Fonte: Arquivos pessoais do autor, 2020.

6.4 ESTUDO DE CASO

Tratando-se de deslizamento de pilhas, temos abaixo como Estudo de Caso, o maior evento de deslizamento já registrado em Carajás-PA, ocorrido em março de 2018. Sua ocorrência potencializou no deslocamento e danos estruturais em torno de 100 metros de extensão de um transportador de correia e sua massa veio a atingir outro pátio de produto em nível inferior. Esta ocorrência, podemos afirmar, foi o estopim para o início deste trabalho, sendo necessário uma análise aprofundada em descobrir suas causas bem como realizar e implementar controles para mitigação e bloqueio de novos incidentes desta magnitude. Este trabalho teve como foco o estudo e sistematização de parâmetros de controle para estabilização de pilhas de minério na unidade operacional em Serra Norte, considerando o período de abril de 2018 a junho de 2019. Na Figura 24, a seguir, mostra o evento ocorrido em março de 2018.

Figura 24: Deslizamento da Pilha 3C em Carajás-PA (março, 2018)



Fonte: Arquivos pessoais do autor, 2020.

6.5 CLASSIFICAÇÃO DOS EVENTOS DE DESLIZAMENTOS

No final do ano de 2019, o Comitê de Gestão de Pátios do Corredor Norte, integrado por profissionais de todas as unidades operacionais de pátios de produtos, engenharia e controle de qualidade, estabeleceu que todas as ocorrências de deslizamentos/desmoronamentos nos pátios de produto em Carajás e no Porto, deveriam ser registradas, sendo caracterizadas como evento Crítico e Não Crítico.

Esta classificação tem como objetivo diferenciar as ocorrências através de uma descrição de modo que se possa realizar as apurações e tratativas dos eventos, conforme mostra a Figura 25, a seguir.

Figura 25: Classificação dos eventos de deslizamento de pilhas

Classificação dos Eventos
Os eventos serão classificados segundo 2 categorias:
Eventos Não críticos: Eventos no qual o material fica retido dentro da área de contenção do pátio. (taludes e leiras)
Eventos Críticos: Eventos no qual o material ultrapassa a área de contenção do pátio. (taludes e bermas)

Fonte: Report de deslizamentos - TPM (VALE S/A., slide 2, 2019).

Na Figura 26, a seguir, temos duas situações: uma em que a massa da pilha se desloca e fica retida dentro da área de contenção do pátio; e a outra situação onde o material se desloca, ultrapassando o limite de contenção, atingindo a via de rolamento da máquina de pátio.

Figura 26: Classificação de Deslizamento de pilhas



Fonte: Report de deslizamentos - TMPM (VALE S/A., slide 2, 2019).

6.6 O MODELO TOYOTA

O Modelo Toyota, chamado também de Sistema Toyota de Produção (STP) ou Sistema de Produção Enxuta surgiu no Japão, logo após a segunda guerra mundial, onde as restrições do mercado requeriam a produção de pequenas quantidades de muitas variedades de itens, sob condições de baixa demanda. Nesta época, a indústria japonesa tinha uma produtividade muito baixa e uma enorme falta de recursos, o que, naturalmente, a impedia de adotar o Modelo ou Sistema de Produção em massa, desenvolvido por Frederick Taylor e Henry Ford no início do século XX e que predominou no mundo até a década de 90. A criação do Modelo Toyota se deve a três pessoas: o fundador da Toyota e mestre em invenções, Toyoda Sakichi, seu filho Toyoda Kiichirō e o principal executivo o engenheiro Taiichi Ohno.

O Sistema Toyota de Produção é um modelo assertivo para as organizações atingirem alta qualidade nos produtos e nos processos. O STP é uma forma coesa de se atingir a manufatura de classe mundial e o mais importante é ter todos os elementos com um sistema e não isoladamente (OHNO, 1997).

O STP juntamente com o *Lean Six Sigma*, é a base para a grande parte do movimento “produção enxuta”, ou seja, a redução do *lead time*¹, redução das horas extra de trabalho, redução do estoque em processo, redução de estoque de produtos acabados e a

¹ Lead Time, palavra do inglês, que significa “prazo de entrega”, é o período entre o começo de uma atividade, desde o momento em que é colocada na empresa, até o seu término, quando o produto/serviço é entregue ao **cliente**. Ou seja, trata-se basicamente do tempo total que é gasto em um processo de compra, que inicia na solicitação do consumidor e finaliza no momento em que ocorre a entrega do produto ou a prestação do serviço a este. Disponível em: <<https://www.ibccoaching.com.br/portal/conheca-qual-e-o-conceito-de-lead-time/>> Acesso em: 20 set. 2020

melhoria da produtividade. Entretanto, para que se tenha uma produção enxuta, a empresa deve ser enxuta. E o que vem a ser uma empresa enxuta? É o resultado final da aplicação do Sistema Toyota de Produção, e este, por sinal, consiste em basear as decisões administrativas em uma filosofia de longo prazo, mesmo em detrimento de metas financeiras de curto prazo, eliminar as perdas, padronizar tarefas, trazer problemas à tona, nivelar carga de trabalho, evitar superprodução, respeitar, motivar e desafiar seus funcionários e desenvolver líderes que lutem pela mesma filosofia que a da empresa, e solucionar todos os problemas para que se tenha o aprendizado e a melhoria contínua (SLACK, 1993).

Os 14 Princípios do Modelo Toyota de gestão são utilizados como modelo para se atingir alto grau de competitividade e desempenho (LIKER, 2005).

O Sistema Toyota de Produção é o sistema de administração da produção para alcançar metas de melhor qualidade, menor custo e *lead times* mais curtos através do engajamento de pessoas em relação às metas.

A Figura 27, a seguir, apresenta o Resumo do Sistema Toyota de Produção.

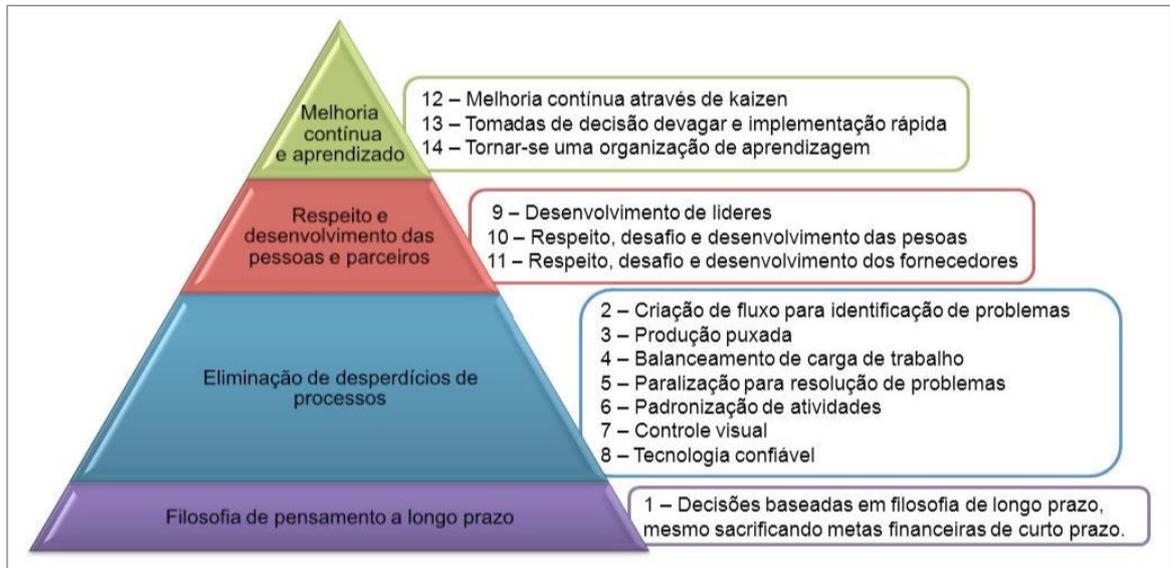
Figura 27: Resumo STP (Sistema Toyota de Produção)



Fonte: LIKER, 2005, p. 179.

Segundo Liker (2005), são 14 os princípios que comandam as atividades na Toyota, eles foram divididos em 4 categorias conforme pode ser visualizado na Figura 28, a seguir.

Figura 28: Princípios do Sistema Toyota de Produção



Fonte: LIKER, 2005, p. 28.

Categorias dos Princípios

Princípio 1: Basear as decisões administrativas em uma filosofia de longo prazo, mesmo em detrimento de metas financeiras de longo prazo.

Princípio 2: Criar um fluxo de processo contínuo para trazer os problemas à tona.

Princípio 3: Usar sistemas puxados para evitar a superprodução.

Princípio 4: Nivele a carga de trabalho (*Heijunka*). Trabalhar como tartaruga, não como lebre.

Princípio 5: Construir uma cultura de parar e resolver os problemas, obtendo a qualidade logo na primeira tentativa.

Princípio 6: Tarefas padronizadas é a base para a melhoria contínua e a capacitação dos funcionários.

Princípio 7: Usar controle visual para que nenhum problema fique oculto.

Princípio 8: Usar somente tecnologia confiável e completamente testada que atenda a funcionários e processos.

Princípio 9: Desenvolver líderes que compreendam completamente o trabalho, que vivam a filosofia e a ensinem aos outros.

Princípio 10: Desenvolver pessoas e equipes excepcionais e que sigam a filosofia da empresa.

Princípio 11: Respeitar a rede de parceiros e de fornecedores desafiando-os e ajudando-os a melhorar.

Princípio 12: Ver por si mesmo a compreender completamente a situação (*Gemba*).

Princípio 13: Tomar decisões lentamente por consenso, considerando completamente todas as ações, implementá-las com rapidez.

Princípio 14: Tornar-se de uma organização de aprendizagem através da reflexão incansável (*Hansei*) e da melhoria contínua (*Kaizen*).

Figura 29: Casa da Toyota / Pilares da Toyota



Fonte: LIKER, 2005, p. 51.

6.7 O SISTEMA DE PRODUÇÃO VALE (VPS)

O Modelo de Gestão VALE, conhecido como VPS (*Vale Production System*), em sua tradução temos Sistema de Produção da VALE, tem como foco os resultados e prevê a implementação profunda e abrangente de políticas, práticas para viabilizar operações seguras e ambientalmente responsáveis, e garantir a integridade dos nossos ativos. O VPS surgiu e iniciou-se sua implantação partir de 2010, sendo sua base o Modelo Toyota de Produção, pautado em dimensões e pilares, com foco em liderança, pessoas e processos. O VPS fortalece a cultura organizacional da Vale por meio do desenvolvimento das pessoas, da padronização de melhores práticas, da disciplina operacional e do cumprimento da rotina.

O Sistema de Produção Vale (VPS) é composto por 3 dimensões: Liderança, Técnico e Gestão, que possuem 17 elementos. Cada elemento deste guia apresenta os requisitos mínimos de conformidade conforme a Figura 30, a seguir.

Figura 30: Dimensões do Sistema de Produção Vale



Fonte: Guia do VPS (VALE S/A., 2020, p. 4).

O VPS é composto por 3 dimensões: Liderança, Técnico e Gestão:

Liderança: Conjunto de práticas de liderança esperadas para reforçar comportamentos-chave e moldar a cultura e a disciplina organizacional.

Técnico: Políticas, diretrizes e requisitos de processos técnicos comuns para gerenciar ativos e lidar com riscos inerentes aos nossos negócios.

Gestão: Rotinas, metodologias e ferramentas de gestão estruturadas para sustentar e melhorar resultados.

O VPS possui 17 elementos e cada elemento apresenta os requisitos mínimos

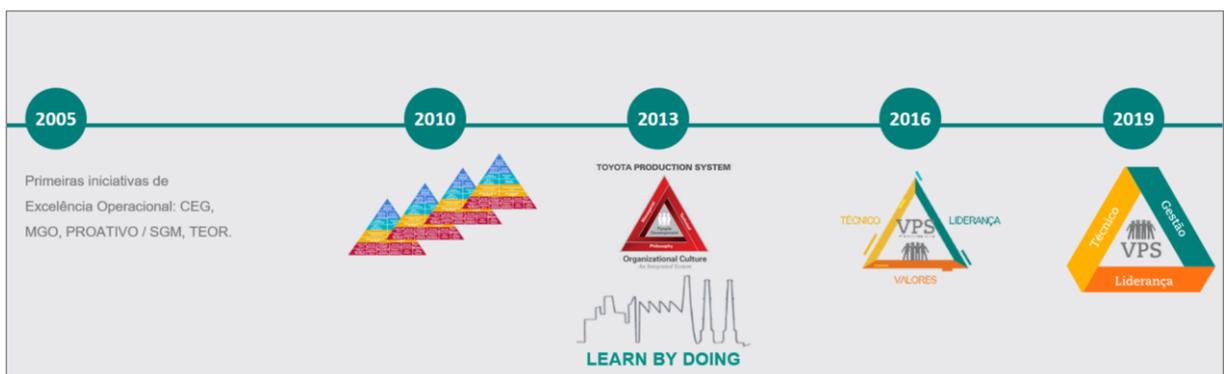
Figura 31: Elementos do Sistema de Produção Vale



Fonte: Guia do VPS (VALE S/A., 2020, p. 4).

O VPS é um modelo em constante evolução, que se consolida e melhora continuamente na sua abordagem, nos métodos, nas técnicas e nas ferramentas utilizadas de acordo com o aprendizado obtido. A Figura 32, a seguir, ilustra a evolução do Sistema de Produção Vale ao longo dos anos, onde com as últimas atualizações busca-se a total integração com gerenciamento de riscos e gestão de saúde, segurança, meio ambiente e comunidades; foco em resultados; implementação obrigatória, profunda e abrangente.

Figura 32: Linha do tempo com a evolução do VPS



Fonte: VPS Excelência Operacional (VALE S/A., slide 11, Rio de Janeiro, 2020).

Liderança

Os elementos da dimensão liderança estabelecem um conjunto de práticas de liderança esperadas para reforçar comportamentos-chave e moldar a cultura e a disciplina organizacional. Os líderes praticam e promovem a vivência dos valores e dos comportamentos-chave em todas as suas interações, respeitando a legislação local, o código de conduta e as regras e requisitos internos.

Os líderes são responsáveis por selecionar, treinar, desenvolver, reconhecer, reter e avaliar pessoas, promovendo o engajamento que gera alta performance.

Também é de responsabilidade da liderança, garantir que a estrutura organizacional seja respeitada, conforme diretrizes de desenho e dimensionamento, com o escopo e responsabilidades das funções definidos, com a finalidade de cumprir suas entregas com saúde, segurança e gestão de riscos.

Técnico

Os elementos técnicos estabelecem políticas, diretrizes e requisitos de processos técnicos comuns a fim de gerenciar ativos e lidar com riscos inerentes aos nossos negócios.

São os elementos da dimensão técnica do nosso modelo que estabelecem procedimentos e requisitos técnicos comuns para gerenciar ativos e lidar com riscos inerentes aos nossos negócios, sendo eles: percepção e gerenciamento de riscos; saúde, segurança, meio ambiente e comunidades; projetos e construções; operação; manutenção; gerenciamento de mudanças; sistemas e tecnologia; suprimentos e serviços; plano de emergência.

Gestão

Os elementos de gestão estabelecem rotinas, metodologias e ferramentas de gestão estruturadas para sustentar e melhorar resultados. O gerenciamento da rotina é um conjunto de ações e verificações diárias, conduzidas de forma que cada pessoa possa assumir as responsabilidades no cumprimento das obrigações de cada função. A dimensão Gestão é constituída dos seguintes elementos: desdobramento da estratégia, gerenciamento da rotina, processos e padronização, solução de problemas e melhoria contínua e avaliação do modelo de gestão e resultados.

6.8 CONHECENDO AS DIRETRIZES BÁSICAS DE OPERAÇÃO

As diretrizes básicas de operação surgiram no processo da Ferrovia (VALE S/A), devido a um grave acidente ocorrido na ferrovia que liga a capital Belo Horizonte, ao município de Sabará, Minas Gerais, mais precisamente na “curva do cachorro magro”, onde o maquinista não realizou o teste de freio da locomotiva que, naquele momento, apresentava-se com problema de vazamento de ar pela linha pneumática.

Durante as investigações do acidente, não foi possível esclarecer se o maquinista havia realizado o *checklist* da locomotiva. A partir disso surgiram as Diretrizes Básicas de Operação (DBO), como ferramenta sistemática para se checar se as normas e procedimentos definidos para executar as atividades estão sendo cumpridas ou não pelo operador.

A DBO tem como objetivos: sistematizar a verificação da execução das atividades de operação e manutenção; promover a excelência através da qualificação das atividades dos profissionais e promover a realização da manutenção e operação com segurança, qualidade e produtividade conforme Figura 33, a seguir.

Figura 33: Ilustração dos objetivos das diretrizes básicas de operação



Fonte: Diretrizes básicas de operação e manutenção de usina (VALE S/A., Carajás, 2020, p. 5).

Como resultado esperado deste processo, espera-se garantir a segurança das operações, melhoria da eficiência operacional, redução de riscos de acidentes pessoal e operacional, garantir disponibilidade e confiabilidade dos ativos e o aumento da produtividade.

Figura 34: Papéis e responsabilidades - diretrizes básicas de operação



Fonte: Diretrizes básicas de operação e manutenção de usina (VALE S/A., Carajás, 2020, p. 9).

Com o intuito de garantir o gerenciamento do programa e a correta aplicação das ferramentas de verificação (*check*), o método contempla dois perfis que têm obrigações e responsabilidades definidas para garantir a gestão do programa, são elas:

Contribuidor: Empregado designado pela liderança com conhecimento técnico para aplicar as ferramentas de *check* (TE e DT) no contribuído – Supervisores, engenheiros e analistas indicados pela liderança, técnicos indicados pela área que atuam em funções associadas à gestão.

Contribuído: São todos os empregados diretos, que exerçam as atividades operacionais e que não estejam classificados como avaliadores.

Teste de Eficiência (TE)

Tem como objetivo verificar o aspecto comportamental e disciplinar do empregado na execução da tarefa. Ocorre sem o aviso prévio do contribuidor ao contribuído. A documentação base consiste em realizar nos itens dos regulamentos (regras) recomendados no plano de trabalho mensal (PTM) e por meio da observação *in loco* da execução de uma determinada tarefa.

O teste de eficiência consiste no contribuidor observar a execução da tarefa e verificar se o contribuído, ao executá-la, cumpriu as regras do regulamento. No teste de eficiência a observação da execução da tarefa é feita de forma pontual, o contribuidor observa

especificamente a disciplina operacional do contribuído em relação ao cumprimento do regulamento.

Diagnóstico Técnico (DT)

Tem como objetivo verificar o conhecimento técnico e a habilidade do empregado na execução da tarefa. Ocorre com a prévia comunicação do contribuidor ao contribuído. É realizado com base nos parâmetros técnicos definidos previamente a partir dos procedimentos recomendados pelo plano de trabalho mensal (PTM), o diagnóstico técnico é realizado por meio da verificação *in loco* da execução da tarefa pelo contribuído.

O diagnóstico técnico consiste no contribuidor acompanhar a execução da tarefa e verificar se o contribuído, ao executá-la, conhece e cumpre os passos do procedimento, isto é, verifica a eficiência técnica operacional. No diagnóstico técnico o acompanhamento da execução da tarefa é feito de forma contínua, o contribuidor acompanha cada passo do procedimento a ser verificado junto ao contribuído, conforme Figura 35, a seguir.

Figura 35: Contribuidor realizando a aplicação de DT ao contribuído



Fonte: Diretrizes básicas de operação e manutenção de usina (VALE S/A., Carajás, 2020, p. 10).

Dentro de toda a metodologia das diretrizes básicas, há outras orientações para a aplicação do teste de eficiência e diagnóstico técnico, carteira de pontos do contribuído, critérios da pontuação do mesmo, indicadores e o gerenciamento da rotina que não será abordado neste trabalho, onde, o objetivo deste é mostrar que existe uma sistemática para se checar a eficiência das operações.

6.9 CONHECENDO O FMDS

É uma ferramenta de gestão avançada do Sistema Toyota de Produção, desenvolvida em 2006 no Japão, no contexto de expansão mundial da Toyota, com o objetivo de aprimorar o gerenciamento do chão de fábrica. No Brasil, essa ferramenta foi implantada oficialmente no ano de 2008. A sigla FMDS vem do inglês *Floor Management Development System*, em sua tradução temos o Sistema de Desenvolvimento de Gerenciamento do Chão de Fábrica.

Nada mais é que o acompanhamento cotidiano das ações, definidas de acordo com o desdobramento da estratégia, a fim de verificar se os resultados esperados estão sendo atingidos e, caso negativo, sejam tomadas as ações corretivas a tempo (LIKER, 2005).

Permite que todos saibam claramente se o desempenho está bom ou ruim em bases diárias, se necessário horárias, ou então semanais ou mensais, se for o caso. Da mesma forma estabelece que todos, em todos os níveis, enxerguem rapidamente o desvio ou o problema que impede que as metas sejam atingidas. E que todos, igualmente, sejam responsáveis por tomar as providências necessárias para corrigir estes problemas rapidamente (LIKER, 2005).

Figura 36: Modelo do FMDS (pirâmide normal e pirâmide invertida)



Fonte: Sistema de Gerenciamento e Desenvolvimento do Chão de Fábrica. *FMDS Floor Management Development System* (VALE S/A., Belo Horizonte, 2016, p. 19).

Os passos do FMDS são quatro e são descritos a seguir:

Passo 1: Conectar as diretrizes da empresa com as atividades diárias;

Passo 2: Clarificar os problemas que estão impedindo que as metas sejam alcançadas;

Passo 3: Envolver a equipe na solução destes problemas priorizados (papel do líder);

Passo 4: Acompanhar frequentemente as atividades e resultados destas soluções.

Figura 37: Passos do FMDS



Fonte: Sistema de Gerenciamento e Desenvolvimento do Chão de Fábrica. *FMDS Floor Management Development System* (VALE S/A., Belo Horizonte, 2016, p. 7).

A estrutura do FMDS é baseada nos pilares de Segurança, Sustentabilidade, Qualidade, Produtividade, que refletem no Custo, tudo isso está sustentado pelas Pessoas que são a base de sustentação de todo o processo.

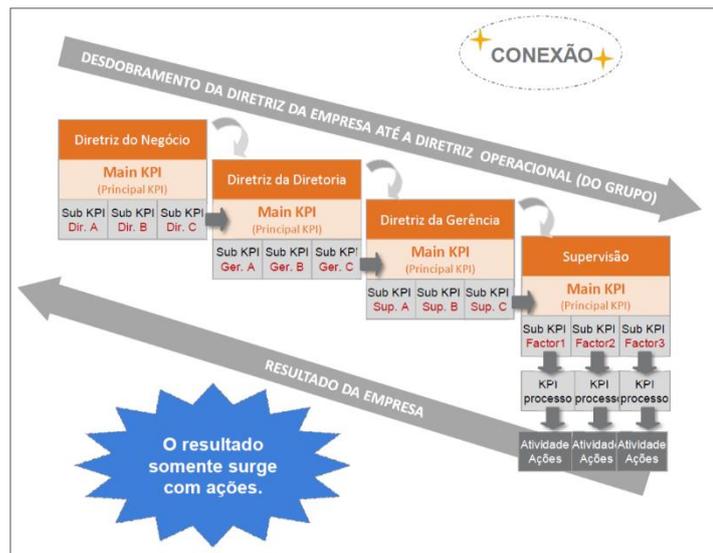
Figura 38: Estrutura do FMDS



Fonte: Sistema de Gerenciamento e Desenvolvimento do Chão de Fábrica. *FMDS Floor Management Development System* (VALE S/A., Belo Horizonte, 2016, p. 6).

O FMDS é um modelo de gestão visual a nível de solução de problemas, seu escopo divide-se em: *Main KPI*², *Sub KPI* e *Process KPI*. O *Main* é o indicador principal, o *Sub* é o desdobramento do indicador do processo que sustenta o indicador principal e o *Process* é onde se gerencia os controles do processo, realiza o *check*, implementa melhorias contínuas, identifica e trata os possíveis desvios encontrados, conforme Figura 39, a seguir.

Figura 39: Desdobramento das diretrizes até o operacional chão de fábrica

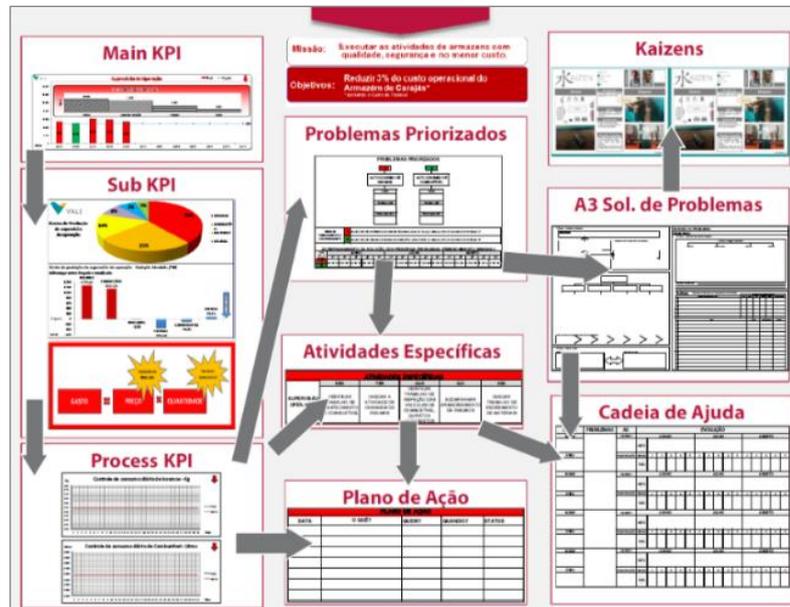


Fonte: Sistema de Gerenciamento e Desenvolvimento do Chão de Fábrica. *FMDS Floor Management Development System* (VALE S/A., Belo Horizonte, 2016, p. 18).

Na Figura 40, a seguir, temos o painel que ilustra a rotina de acompanhamento do processo, análise do processo com o tratamento dos desvios, com reflexo nos indicadores principais. O aspecto visual significa a possibilidade de enxergar um processo, um equipamento, um estoque, ou um mesmo funcionário realizando sua atividade e, imediatamente, perceber qual é o padrão que está sendo usado para aquela tarefa e se há desvio neste padrão (LIKER, 2005).

² *KPI* – Key Performance Indicators (Indicadores Chaves de Performance)

Figura 40: Exemplo de um painel FMDS



Fonte: Sistema de Gerenciamento e Desenvolvimento do Chão de Fábrica. *FMDS Floor Management Development System* (VALE S/A., Belo Horizonte, 2016, p. 13).

7 FERRAMENTAS DE CONTROLE E GERENCIAMENTO

7.1 CONTROLE E PADRONIZAÇÃO NA ALTURA DAS PILHAS

Após definido que as pilhas de SFCK (*Sinter Feed* Carajás) Usina 1 serão construídas com altura de 12 metros no período seco e de 10 metros no período chuvoso, e, para as pilhas de SFLS (*Sinter Feed Low Sílica*) Usina 2 com altura de construção em 14 metros no período seco e 11 metros no período chuvoso, o próximo passo foi estabelecer a altura padrão das pilhas por empilhadeira, e por período sazonal. O controle do ângulo de elevação das empilhadeiras constitui-se devido ao modelo, tamanho e capacidade de cada máquina de pátio, onde, foi encontrado o ângulo conforme sua base e realizando uma medição através de uma trena digital, conforme a Tabela 6, a seguir.

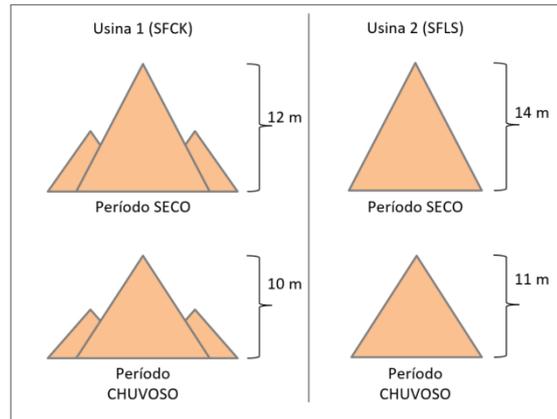
Tabela 6: Padrão de ângulos das pilhas por máquina de pátio

Padrão de Ângulos de Giro e elevação para Estocagem nas Empilhadeiras												
Usina	Equipamento	Pátio	Período Chuvoso					Período Seco				
			Ângulos de giro			Ângulo de Elevação	Altura da Pilha	Ângulos de giro			Ângulo de Elevação	Altura da Pilha
			1º cordão	2º cordão	Pilha			1º cordão	2º cordão	Pilha		
1	EP 151K-03	A	N/A	N/A	35°	8°	15m	N/A	N/A	35°	8°	15m
	EP 151K-04	C	52°	23°	38°	1°	10m	52°	23°	38°	4°	12m
	EP 151K-05	A	58°	23°	38°	2°	10m	60°	18°	40°	5°	12m
	EP 151K-06	B	73°	37°	57°	2°	10m	75°	37°	57°	5°	12m
	EP 151K-06	E	N/A	N/A	90°	0°	10m	N/A	N/A	90°	0°	12m
	EP 149K-01	B	N/A	N/A	N/A	13°	12m	N/A	N/A	N/A	13°	12m
	ER 151K-01	C	72°	42°	57°	0°	10m	73°	42°	57°	2°	12m
	ER 151K-01	D	N/A	44°	65°	0°	10m	N/A	42°	65°	2°	12m
2	EP 5010KN-01	G	N/A	N/A	41°	2°	11m	N/A	N/A	41°	5°	14m
	EP 5010KN-02	H	N/A	N/A	37°	2°	11m	N/A	N/A	37°	5°	14m

Fonte: PRO 006922 – Empilhar minério. Padrão de ângulos de giro e elevação para estocagem. (VALE S/A., Carajás, 2020, Tabela 2, p. 4).

Na Figura 41, a seguir, temos a Altura padrão de pilhas Usinas 1 e 2 conforme os períodos sazonais; seco e chuvoso.

Figura 41: Altura padrão de pilhas Usinas 1 e 2 (período seco e chuvoso)



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Para garantir que o ângulo correto que está configurado na máquina de pátio que irá formar a pilha (empilhadeira), mensalmente é realizada a conferência no equipamento com uma régua medidora de ângulo e inclinações, conforme Figura 42, abaixo, a fim de garantir que a empilhadeira está com a elevação aferida e a formação da pilha em conformidade. Essa medida adotada, garantirá a altura da pilha formada dentro do padrão estabelecido obedecendo a altura que foi configurada.

Figura 42: Régua medidora de ângulo e inclinações



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

7.2 CONFERÊNCIA DA FORMAÇÃO DAS PILHAS

Com a formação das pilhas realizadas no primeiro processo (Empilhamento), o próximo passo é realizar a conferência de formação e altura da pilha em campo. Esta rotina é feita por um técnico que realiza a medição de altura das pilhas, bem como verifica através do *checklist* (Pilha Padrão) e faz todas anotações e registros das não conformidades encontradas conforme a Figura 43, a seguir.

Figura 43: Checklist Pilha Padrão

VALE

BOLETIM ESTOCAGEM PADRÃO - CORREDOR NORTE

O que é o programa Pilha Padrão?

É um programa criado com a intuito de aprimorar o processo de empilhamento e recuperação nos pátios de produtos ao longo do Corredor Norte. Será dada visibilidade às pilhas bem formadas/ recuperadas, tratando os desvios das pilhas fora do padrão.

Critérios de Avaliação

PILHA PADRÃO

EMPILHAMENTO PADRÃO

- Empilhamento realizado em pilha zerada
- Altura da pilha
- Espaçamento entre pilhas
- Empilhamento centralizado
- Espaçamento entre pilha e bermas / vias de acesso
- Espaçamento entre pilha e cordão
- Tipo de empilhamento
- Ocorrência de "CAR-Cartela de Ovo", "BAR-barriga" ou "CAB-Cabeção"
- Balçamento correto
- Altura dos cordões

RECUPERAÇÃO PADRÃO

- Recuperação em bancada
- Recuperação completa

DRENAGEM

- Bom Drenagem

Fonte: Checklist pilha padrão – critérios de avaliação. Controle de Qualidade. (VALE S/A., Carajás, 2020, p. 5).

O *checklist* Pilha Padrão ilustrado na Figura 43, acima, é composto por 13 itens a serem verificados e checados pelo profissional em campo, que, ao realizar a verificação diária conforme o cronograma estabelecido, realiza todas as anotações para posterior lançamento dos dados em um relatório específico.

Na Figura 44, abaixo, observa-se o profissional realizando as medições das pilhas utilizando um instrumento de precisão (trena digital) e a verificação através do *checklist* Pilha Padrão.

Figura 44: Profissional em campo realizando as medições e checagem das pilhas



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

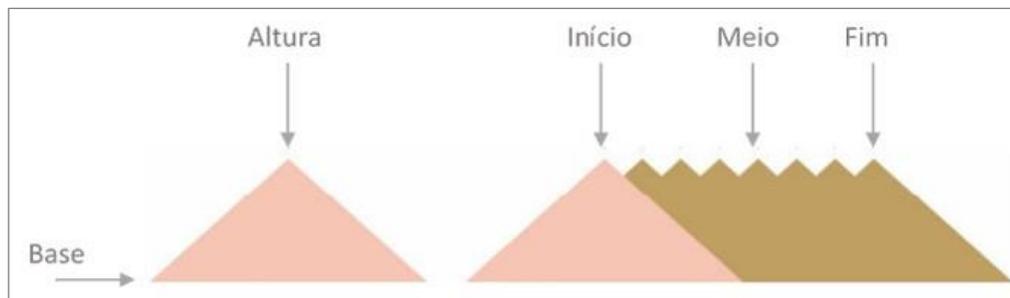
Figura 45: Trena digital utilizada na medição das pilhas



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Para as medições das pilhas são consideradas três medidas: a primeira no início da pilha, a segunda no meio da pilha e a terceira no final da pilha. Nas Figuras 46 e 47, a seguir, temos a ilustração e registro em campo de como é considerada esta medição.

Figura 46: Ilustração de referências de medição das pilhas



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

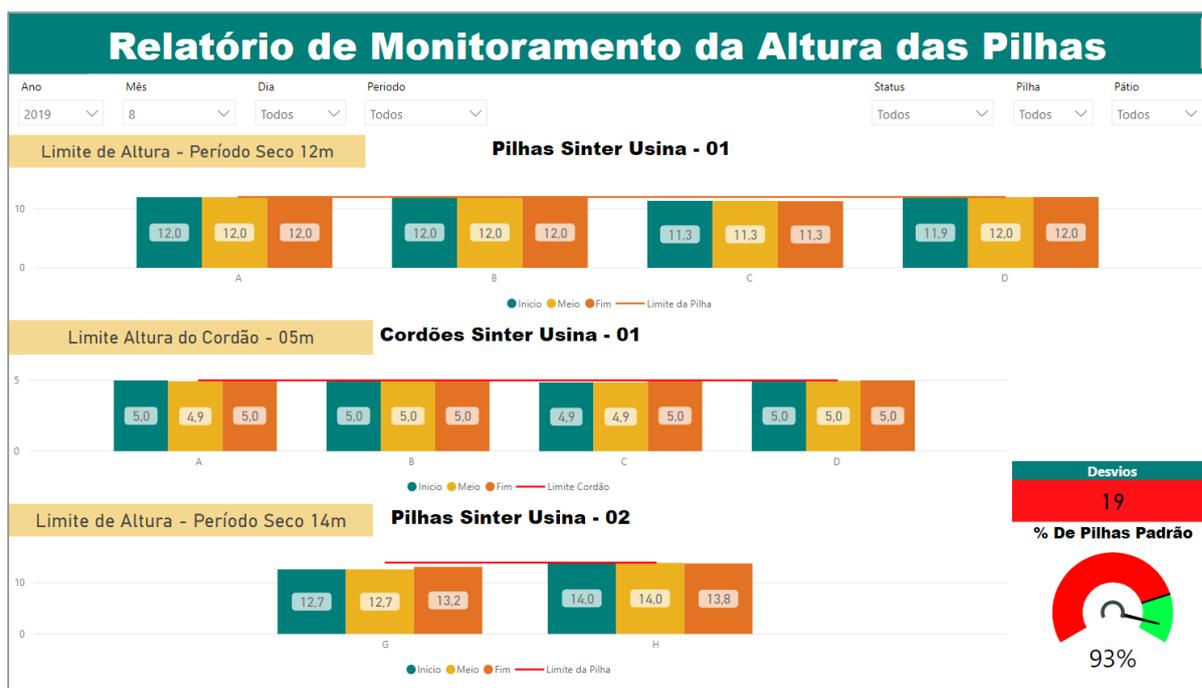
Figura 47: Referências de medição das pilhas



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Após a realização das medições e as inspeções devidamente registradas em cada pátio, é realizada a alimentação das informações em um banco de dados com as anotações feitas e as não conformidades são devidamente apontadas neste relatório, conforme Figura 48, a seguir.

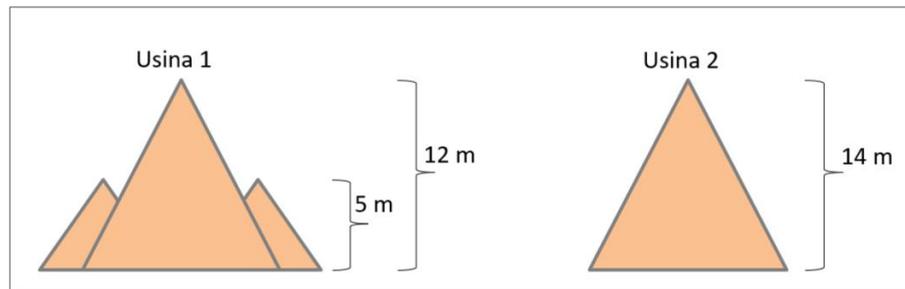
Figura 48: Monitoramento da altura das pilhas



Fonte: Relatório em *Power BI* – Controle Operacional Expedição (VALE S/A., Carajás, 2020, p. 1).

A Figura 48, acima, mostra o controle de altura realizado, baseado na altura estabelecida conforme o período sazonal. Neste caso, para o período seco considera-se 12 metros de altura para a Usina 1 e 14 metros para a Usina 2, conforme ilustra a Figura 49, a seguir.

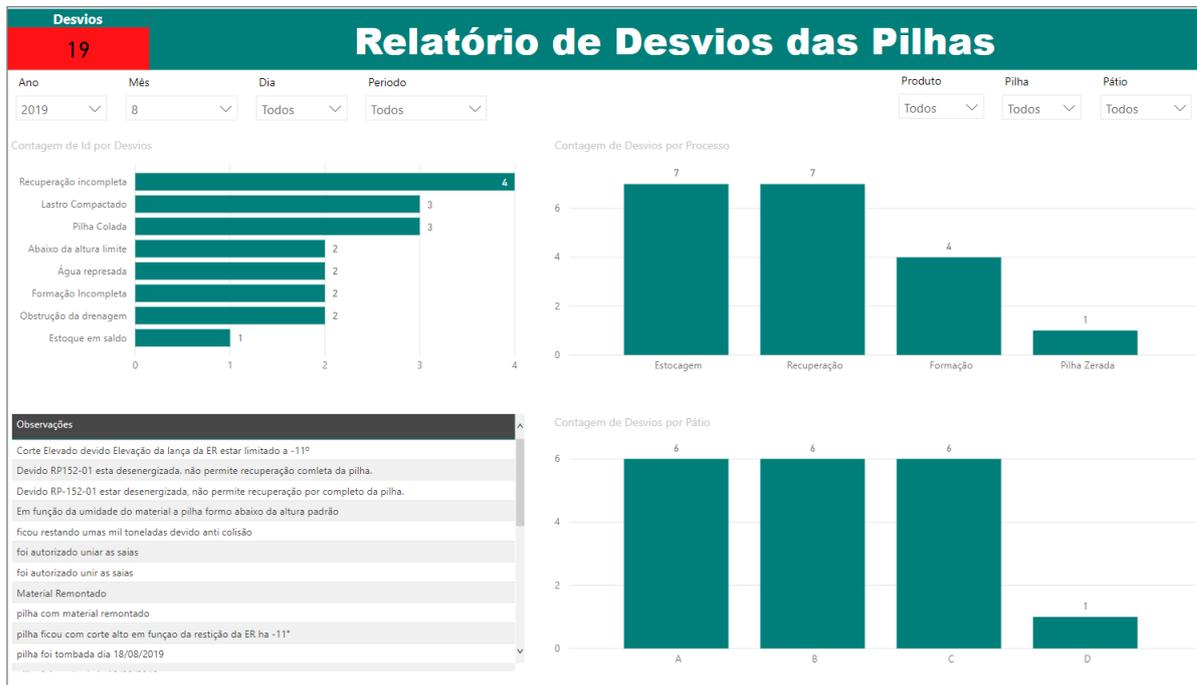
Figura 49: Altura padrão de pilhas Usinas 1 e 2 (Período Seco)



Fonte: Elaboração própria, 2020.

Os desvios levantados conforme o *checklist* são lançados em um relatório para controle e tratativa das não conformidades registradas, conforme Figura 50, a seguir.

Figura 50: Relatório de Desvios das Pilhas



Fonte: Relatório em *Power BI* – Controle Operacional Expedição (VALE S/A., Carajás, 2020, p. 3).

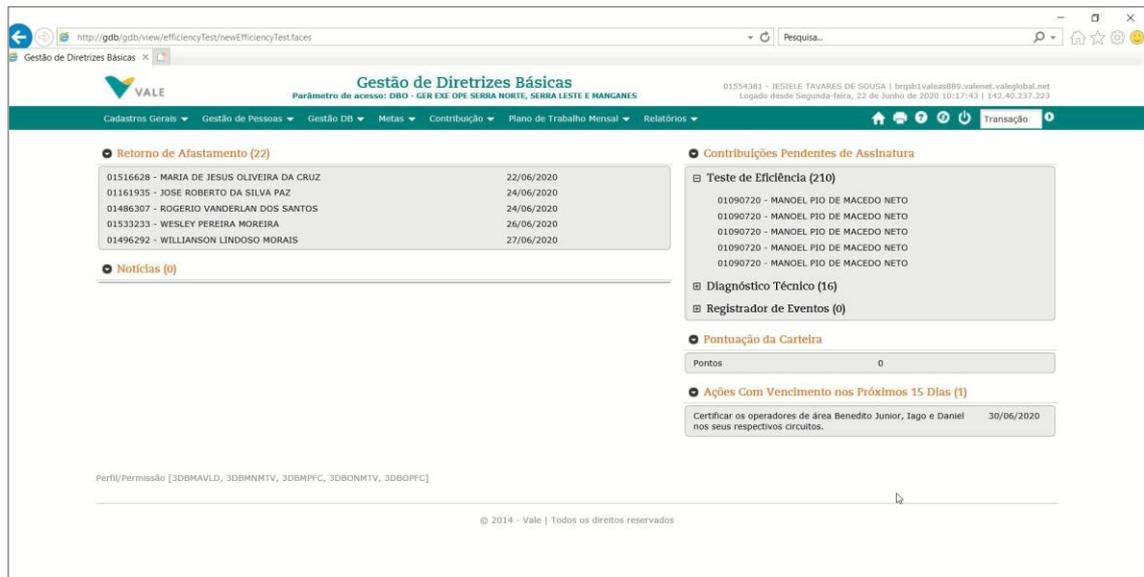
Os desvios registrados seguem duas formas para tratativa: a primeira através das diretrizes básicas de operação e a segunda através de uma programação semanal de equipamentos.

7.3 TRATATIVA DOS DESVIOS

7.3.1 Primeira tratativa

Os desvios apontados de origem operacional, ou seja, que foram realizados pelo operador do equipamento (contribuído) é feita a tratativa conforme estabelecido nas diretrizes básicas de operação (DBO). É aplicado o Teste de Eficiência (TE), o qual consiste no contribuidor observar a execução de tarefa e verificar se o contribuído, cumpriu as regras do regulamento. No Teste de Eficiência a observação da execução da tarefa é feita de forma pontual, o contribuidor observa especificamente a disciplina operacional do contribuído em relação ao cumprimento do regulamento. Na Figura 51, a seguir, mostra uma tela do sistema de gestão das Diretrizes Básicas.

Figura 51: Tela Sistema de Gestão de Diretrizes Básicas



Fonte: Diretrizes básicas de operação e manutenção de usina (VALE S/A., Carajás, 2020, p. 34).

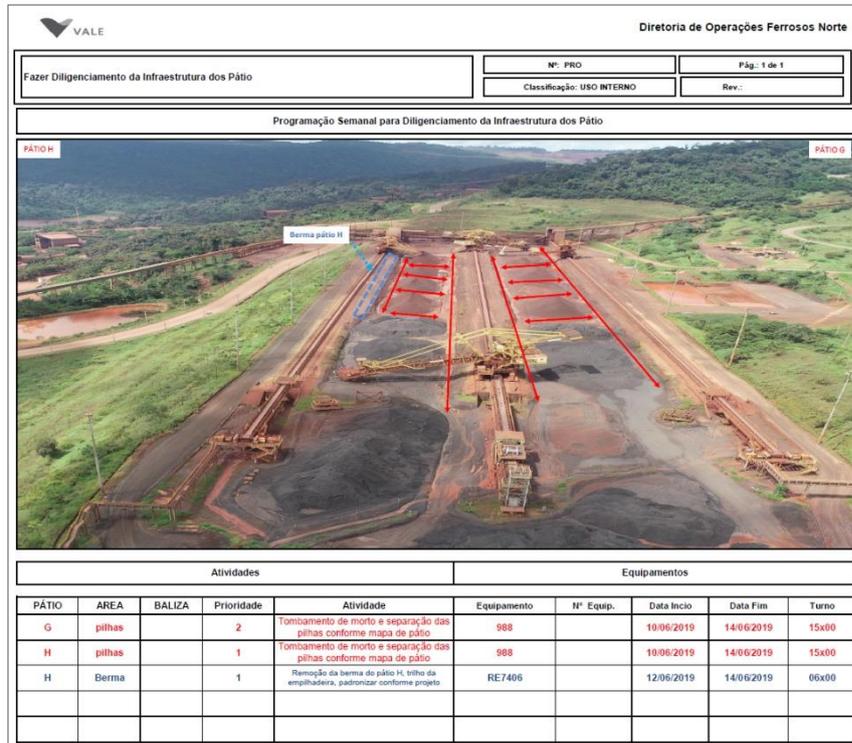
7.3.2 Segunda tratativa

Os desvios apontados de origem inerente ao processo de empilhamento ou recuperação, ou seja, quando a pilha é invadida pelo processo natural de formação de forma não desejada ou quando a recuperadora (máquina de pátio) projeta o minério para outro local diferente da pilha estabelecida, é realizada uma programação semanal por pátio, para que os equipamentos móveis (pá mecânica, escavadeira) possam restabelecer as pilhas conforme os seus locais originais, e as drenagens devidamente de acordo.

Através desta programação, a equipe responsável (equipamentos de infraestrutura) é informada pelo Controle Operacional Expedição, os trabalhos a serem realizados dentro dos pátios, ordenados por: Pátio, Área, Baliza, Prioridade, Atividade, Equipamento e o Turno Responsável. Toda essa programação visa manter as pilhas em conformidade, dentro dos balizamentos estabelecidos, drenagens em funcionamento. Essas atividades são essenciais para a formação adequada da pilha e, posteriormente, a sua recuperação, que acontece na segunda etapa processual dos pátios de estocagem em Carajás. As duas etapas são fundamentais para

que se obtenha uma melhor performance no circuito da expedição e, conseqüentemente, um desempenho excelente no carregamento dos vagões através dos terminais de carga.

Figura 52: Programação Semanal de Infraestrutura de Pátio



Fonte: Programação Semanal para Diligenciamento da Infraestrutura dos Pátios (VALE S/A, Carajás, 2019, p. 1).

Figura 53: Equipamentos de Infraestrutura de Pátio



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

A Figura 53, acima, ilustra os equipamentos móveis (pá mecânica) realizando as intervenções conforme foi mapeado na programação semanal para cada pátio.

Segundo Liker (2005), um controle visual do ambiente de trabalho pode nos auxiliar na execução do mesmo e apontar a existência de algum desvio padrão. O controle visual

adotado para ter a visibilidade do processo de empilhamento e recuperação foi estabelecido com base a se garantir a formação das pilhas com uma checagem diária, de modo que semanalmente fosse garantida a verificação de todo o processo.

Figura 54: Painel de Gestão dos Indicadores



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Na Figura 54, acima, temos o painel FMDS onde mostra o gerenciamento de forma visual com os pontos verificados, bem como os desvios registrados. Com os controles implementados e a rotina em pleno funcionamento pode-se observar os resultados desejados dentro do processo, conforme o Princípio 6 do modelo Toyota (*Tarefas padronizadas é a base para a melhoria contínua*) e o Princípio 7 (*Usar controle visual para que nenhum problema fique oculto*), na Figura 55, abaixo, temos o produto final do processo padronizado conforme Liker (2005).

Figura 55: Pilha formada dentro dos padrões desejados



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

7.4 CRIAÇÃO DO FMDS COM ITENS PARA GERENCIAMENTO DA FORMAÇÃO DAS PILHAS

Foi estabelecido o *process* como rotina diária de *check* das pilhas baseado no padrão estabelecido (altura das pilhas); com base neste padrão, levantam-se os desvios pautados no *checklist* para a tomada de decisão. Como conexão, tem o exemplo a criação de um painel FMDS em outra supervisão, baseado no tratamento dos desvios no primeiro painel (atendimento ao cliente).

Figura 56: Fluxo de análise do processo com o tratamento dos desvios



Fonte: Pátios de Estocagem – modo operação 2018-2019. (VALE S/A., slide 14, Carajás, 2019).

Conforme a Figura 56, acima, temos a primeira imagem (superior esquerda) é o *process* onde foi estabelecida a rotina de verificação do processo; a segunda imagem é o *checklist* (padrão de verificação) pautado nos requisitos técnicos das pilhas. A terceira imagem é o que não se deseja no processo (pilhas malformadas e não conformes). A imagem abaixo (inferior esquerda) trata-se da análise dos desvios seguindo as duas tratativas, a primeira com a DBO e a segunda tratativa são os desvios físicos encontrados inerentes ao processo; como conexão gerou o último elemento que é o painel de FMDS de outra equipe (infraestrutura), com o foco em medir a rotina e garantir o cumprimento dos padrões das pilhas.

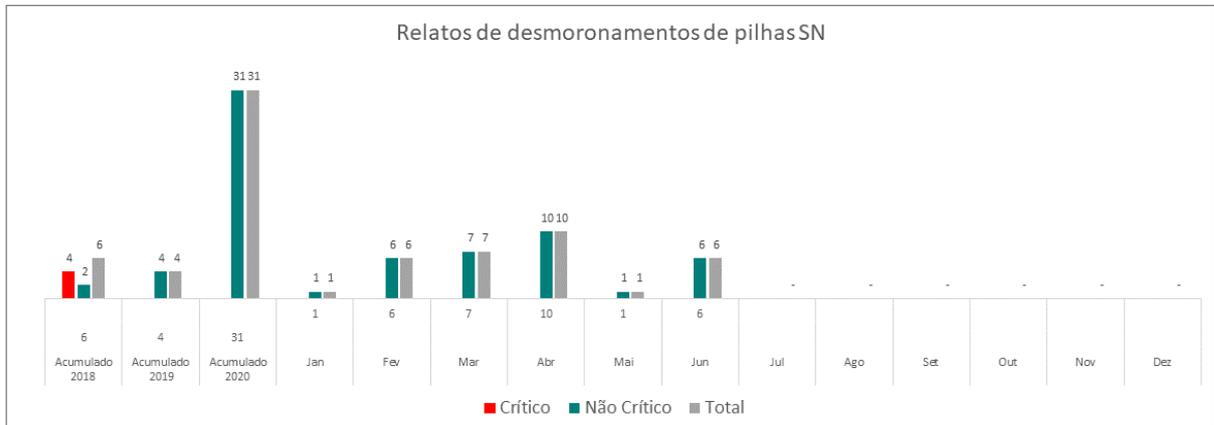
8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No Gráfico 4, a seguir, podemos comprovar a eficácia do método aplicado eliminando as ocorrências de deslizamento (eventos Críticos), eventos estes que podem causar danos materiais e pessoais.

Importante destacar que, houve o aumento dos eventos Não Críticos em 2020 (total: 31 registros), isto porque até o final do ano de 2019 não se registrava estes eventos em sua totalidade. Após esta data, o Comitê de Gestão de Pátios do Corredor Norte estabeleceu que todas as ocorrências de deslizamentos fossem registradas.

Os resultados foram satisfatórios visto a aplicação do método, onde-se chegou nos números aceitáveis para as condições de operação, obedecendo o período sazonal, mantendo os patamares de produção conforme os orçamentos anuais de produção. Alto grau de comprometimento e envolvimento dos profissionais foram de fundamental importância na execução das tarefas mapeadas.

Gráfico 4: Relatório de desmoronamento de pilhas em Serra Norte



Fonte: Relatório de desmoronamento de pilhas em Serra Norte (VALE S/A., Carajás, 2019, p. 8).

Embora com o número de eventos (Não Crítico) elevados em 2020, o importante frisar é que, após toda a sistemática e controles implementados, não foi registrado nenhum evento de deslizamento classificado como crítico.

Classificação das criticidades:

Crítico: são eventos em que a massa da pilha, ultrapassa a margem de segurança, exemplo: berma, acesso interno de veículos e vias de rolamento.

Não Crítico: são eventos em que a massa da pilha fica contida dentro da área interna do pátio.

Na Figura 57, a seguir, podemos observar dois cenários, um antes e o outro após a realização do trabalho. No primeiro registro observamos as condições operacionais que antes estavam sendo vivenciadas pelas equipes de operação, onde, logo após as chuvas eram utilizados equipamentos móveis para realizar a limpeza das vias de rolamento das máquinas de pátio, o que gerava impactos na produtividade do circuito de Expedição e Carregamento dos Vagões, além de afetar diretamente a produção diária e mensal.

Figura 57: Pátios de estocagem em Carajás, período chuvoso (2018)



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Na Figura 58, a seguir, temos o mesmo pátio de produto, ora submetido às chuvas no mesmo período, em anos diferentes, e agora com suas vias de rolamento e acessos preservados, não impactado mais pela disponibilidade dos equipamentos em razão da obstrução da via de rolamento das máquinas de pátio.

Figura 58: Pátios de estocagem em Carajás, período chuvoso (2019)



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Nos demais registros, conforme Figura 59, a seguir, podemos observar as pilhas sobre as bermas e sobre as vias de rolamento das máquinas de pátio (empilhadeiras e recuperadoras), podendo ocasionar um evento de deslizamento crítico com potencial à segurança dos ativos e à vida humana.

Figura 59: Pátios de estocagem A e B em Carajás (2017)



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Nas demais Figuras 60, 61 e 62, a seguir, podemos observar os mesmos pátios, agora em outro momento após a realização dos estudos e a implementação do trabalho. Observa-se as pilhas formadas em alturas menores conforme o estabelecido e todas separadas dentro das balizas e contidas no seu espaçamento e limites de formação.

Figura 60: Pátios de estocagem A e B em Carajás (2019)



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Figura 61: Vista aérea dos pátios de estocagem A/B e C/D – Usina 1 (2019)



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

Figura 62: Vista aérea dos pátios de estocagem G/H – Usina 2 (2019)



Fonte: Arquivo pessoal do autor, 2020.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de parâmetros para controle e estabilização em pilhas de minério em conjunto com os indicadores estabelecidos, sistematização da rotina, gerenciamento de indicadores pelo VPS (Sistema de Produção Vale) permitiu sistematizar toda a rotina de operação dos pátios de produtos em Carajás. A metodologia adotada possibilitou dividir em quatro fases distintas (a) teor de umidade, (b) fator de segurança – estabilidade de taludes (pilhas), (c) grau de saturação e (d) altura das pilhas.

Como apresentado através do *software Slide*, o fator de segurança mínimo adotado para evitar deslizamento de pilhas de minério, foi de 1,3; as pilhas que contêm maior grau de saturação apresentam redução do fator de segurança e, desta forma, ocorre maior instabilidade, gerando sérias condições de ruptura de pilhas.

Através da verificação feita através das simulações, foi definido que as pilhas da Usina 1 *Sinter Feed* Carajás (SFCK) devem ser formadas com altura de 12 metros no período seco e de 10 metros no período chuvoso. Para a Usina 2 *Sinter Feed Low Sílica* (SFLS), a altura de construção deverá de 14 metros no período seco e 11 metros no período chuvoso.

Baseado no histórico das ocorrências de eventos de deslizamentos de pilhas pós-estudo e a implementação do trabalho, pautadas no método desenvolvido no Sistema Toyota de Produção (STP) e através do Modelo de Gestão VALE (VPS), concluiu-se que dentro do processo poderão até ocorrer eventos não críticos, como pequenos deslizamentos, estes contidos dentro do limite de pátio. Deste modo, eventos similares ao da Pilha 3C, ocorrido em março de 2018, dificilmente ocorrerão.

Comparando cada um dos princípios da gestão na Toyota aos princípios da gestão praticada hoje na rotina de operação dos pátios de produtos em Carajás, encontramos as seguintes similaridades:

Princípio 6: Tarefas padronizadas são a base para a melhoria contínua e a capacitação dos funcionários – As nossas operações são padronizadas através dos procedimentos operacionais e verificados/checados através dos regulamentos e gerenciamento das Diretrizes Básicas de Operação (DBO) diariamente, tratadas através do sistema de gerenciamento pelas diretrizes de modo que os desvios comportamentais/disciplinares e técnico/habilidades sejam visíveis e tratados com a maior seriedade.

Princípio 7: Usar controle visual para que nenhum problema fique oculto – As nossas metas e desafios estão afixados em nossos painéis FMDS por toda a gerência e são atualizados mensalmente.

Comparando cada uma das três dimensões do Modelo de Gestão VALE (VPS), aos princípios da gestão praticada dentro da rotina de operação dos pátios de produtos em Carajás, também podemos comprovar as seguintes similaridades:

Liderança: Conjunto de práticas de liderança esperadas para reforçar comportamentos-chave e moldar a cultura e a disciplina organizacional – os líderes estão engajados com suas equipes de modo a ter o desdobramento e a cultura disciplinar nas operações gerando alta performance;

Técnico: Políticas, diretrizes e requisitos de processos técnicos comuns para gerenciar ativos e lidar com riscos inerentes aos nossos negócios – mantemos nossas operações dentro dos padrões, parâmetros e normas estabelecidos de maneira confiável com foco na segurança das pessoas e dos ativos;

Gestão: Rotinas, metodologias e ferramentas de gestão estruturadas para sustentar e melhorar resultados – as rotinas de gerenciamento geram disciplina e asseguram que todas as áreas continuamente analisem seus indicadores, a padronização de processos promove a segurança das atividades e permite a implementação de melhores práticas e melhorias contínua.

Após a mensuração dos resultados, este trabalho foi apresentado às equipes dos demais Pátios do Corredor Norte (Serra Sul e Porto Norte), junto ao Comitê de Gestão de Pátios e diversos gestores, onde, puderam comprovar a eficácia do estudo e do trabalho implementado. Este estudo e trabalho realizado, pode ser replicado aos demais pátios de produtos da empresa ou outra organização, onde, se aplicando a metodologia para se estabelecer os controles de altura das pilhas, baseados em teor de umidade, saturação da água e fator de segurança, implantação do gerenciamento através de controles e indicadores que sustente e mantenha o todo o processo em conformidade, pode-se comprovar que o processo de empilhamento e formação de pilhas de minério estará padronizado de forma segura e sem eventos críticos que possam causar danos a vida humana, danos materiais e ambientais.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, A. P.; HERNANDEZ H. M.; COLMANETTI, J. P. **Apostila de Barragens**. Publicação Interna. Brasília, UnB, DF, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **NBR 6457:2016**. Amostras de Solo – Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização: ABNT, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT) **NBR 11682:2009**. Estabilidade de Encostas. ABNT, 2009.
- BUENO, B. S.; VILAR, O. M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: Departamento de Geotecnia, EESC/USP, v. 1, 132 p., p. 10 e 11, 1979.
- GÓES, F. **Aspectos de manuseio do minério de ferro de Carajás e TML**. Slide 46. VALE S/A., Carajás, 2015a.
- GÓES, F. **Avaliação geotécnica para pilhas de minério de Ferro**. Slides 14, 18 (modificado), VALE S/A., Carajás, 2015b.
- GÓES, F. **Deslizamento de pilhas de IOCJ - OITA / Japão. Estudo de influências que podem gerar deslizamento de pilhas e recomendações de estocagem**. VALE S/A., Carajás, 2015c, p. 34.
- GÓES, F. **Estudo da variabilidade do peso médio dos vagões e sua correlação com o comportamento fluído do minério de ferro**. Slide 8, VALE S/A., Carajás, 2017.
- GÓES, F. **Qualidade do Produto**. Slide 53, VALE S/A, Carajás, 2018.
- IEAG, 1974. **Índices Físicos**. Slide 5. Disponível em: <<https://www.slideshare.net/bellynhha/32-ndices-fsicos>> Acesso em: 20 set. 2020.
- ISIACIK COLAK, C. T.; SATIR, T. **Cargo liquefaction and dangers to ships**. *TransNav Conference*. Disponível em: <<http://www.ifsma.org/resources/Cargo-Liquefaction.pdf>>. 2014, p. 2. Acesso em: 22 jan. 2020.
- LIKER, J. K. **O Modelo Toyota**. 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre: Ed. Bookman, 2005. p. 28, 51 e 179.
- OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção – Além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Ed. Bookman, 1997.
- PEREIRA, R. M.; ÁVILA, C. A.; LIMA, P. R. A. D. S. **Minerais em grãos: técnicas de coleta, preparação e identificação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- PINTO, C. S. **Curso básico de mecânica dos solos em 16 aulas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. p. 34.

SLACK, N. **Vantagem competitiva em Manufatura**: atingindo competitividade nas operações industriais. São Paulo: Atlas, 1993.

VALE S/A. **Apresentando Pátio de Estocagem**. Slides 24, 27, Carajás, 2018.

VALE S/A. **Carajás Update**. Slides 8, 10, 17, Carajás, 2020.

VALE S/A. **Checklist pilha padrão – critérios de avaliação. Controle de Qualidade**. p. 5. Carajás, 2020.

VALE S/A. **Diretrizes Básicas de Operação e Manutenção de Usina**. p. 5, 9, 10 e 34. Carajás, 2020.

VALE S/A. **Form 20-F**. 2018, p. 73. Disponível em:
<http://www.vale.com/PT/investors/information-market/annual-reports/20f/20FDocs/Vale_20-F%20FY2018%20-%20final_p.pdf> Acesso: em 20 set. 2020.

VALE S/A. **Guia do VPS, 2020**. Disponível em:
<[https://intranet.valepub.net/pt/Documents/negocios/excelencia-e-inovacao/vps-vale-production-system/GuiaVPS_Revisado_07_01_20%20\(1\).pdf](https://intranet.valepub.net/pt/Documents/negocios/excelencia-e-inovacao/vps-vale-production-system/GuiaVPS_Revisado_07_01_20%20(1).pdf)> p. 4, Acesso em: 21 jan. 2020.

VALE S/A. **Pátios de Estocagem – modo operação 2018-2019**. Slide 14, Carajás, 2019.

VALE S/A. **PRO 006922 – Empilhar minério. Padrão de ângulos de giro e elevação para estocagem**. Tabela 2, p. 4, Carajás, 2020.

VALE S/A. **Programação Semanal para Diligenciamento da Infraestrutura dos Pátios**. p. 1, Carajás, 2019.

VALE S/A. **Relação de altura de pilha x umidade do minério**. p. 11, 21, 22, 25-28, Carajás, 2015.

VALE S/A. **Relatório de desmoronamento de pilhas em Serra Norte**. p. 8. Carajás, 2019.

VALE S/A. **Relatório em Power BI – Controle Operacional Expedição**. Disponível em:
<<https://app.powerbi.com/groups/me/apps/a85f61a8-ac91-4488-b565-375666a5f6a4/reports/92894189-d31e-4dc7-a6ee-ad7c16057ce1/ReportSection?ctid=7893571b-6c2c-4cef-b4da-7d4b266a0626>> p. 1 e 3. Acesso em: 20 set. 2020. Carajás, 2020.

VALE S/A. **Report de deslizamentos – TPM**. Slide 2. 2019.

VALE S/A. **Sistema de Gerenciamento e Desenvolvimento do Chão de Fábrica. FMDS Floor Management Development System**. Publicação Interna, p. 6, 7, 13, 18 e 19. Belo Horizonte, 2016.

VALE S/A. **VPS Excelência Operacional**. Slide 11, Rio de Janeiro, 2020.