

# Otimização da Gestão de Manutenção em Taludes Ferroviários: Um Estudo de Caso na Estrada de Ferro Carajás

Hylltton W D Bazan

Gerente Técnico, Vale S.A, Nova Lima, Brasil, h.bazan@vale.com

Antuan Pamplona

Engenheiro Geotécnico, Vale S.A, Parauapebas, Brasil, antuan.pamplona@vale.com

Edlayne Moraes

Geóloga, Progen, Nova Lima, Brasil, edlayne.moraes@progen.com.br

Ana Rodrigues

Analista Operacional, Vale S.A, Parauapebas, Brasil, ana.rodrigues@vale.com

Pedro Vitor Máximo Pereira

Consultor, Alvarez & Marsal Brasil, Belo Horizonte, Brasil, ppereira@alvarezandmarsal.com

**RESUMO:** Este artigo apresenta um estudo de caso sobre a aplicação do Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) em taludes de uma ferrovia no norte do Brasil em 2023. O foco principal reside na otimização da gestão da manutenção, especialmente em períodos de alta pluviosidade, como os enfrentados pela Estrada de Ferro Carajás (EFC). A pesquisa implementou os conceitos de engenharia de manutenção e confiabilidade do PCM nos ativos geotécnicos da EFC. Para tal, foi realizado o diagnóstico e cadastramento dos ativos no sistema SAP PM (SAP Plant Maintenance), além da criação de um cronograma de inspeções de 52 semanas (Mapa de 52 Semanas). O estudo também avaliou a estratégia de manutenção, elaborou perfis de perda e definiu gatilhos para análise de falhas em ativos geotécnicos. A utilização do sistema SAP PM foi fundamental para fornecer um módulo integrado para a gestão eficiente das atividades de manutenção. Outras contribuições importantes do estudo incluem: criação de uma taxonomia para localização de instrumentos geotécnicos ao longo da ferrovia, cadastramento dos instrumentos e formulação de planos de inspeção, análise das notas de manutenção para criar um perfil de perdas, identificação de falhas e estabelecimento de gatilhos, desenvolvimento de um perfil de catálogo e de perdas para taludes de ferrovias, avaliação de gatilhos para falhas críticas ou rotineiras. A metodologia proposta visa mitigar riscos, proteger vidas e evitar paralisações no transporte de minérios, sendo especialmente relevante no contexto do transporte ferroviário, uma fase vital da mineração no Brasil.

**PALAVRAS-CHAVE:** Manutenção Geotécnica, Planejamento e Controle de Manutenção (PCM), Taludes Ferroviários, Gestão de Ativos Geotécnicos, Inspeção Geotécnica

**ABSTRACT:** This article presents a case study on the application of Maintenance Planning and Control (PCM) on slopes of a railway in northern Brazil in 2023. The focus lies in optimizing maintenance management, especially during periods of heavy rainfall, as faced by the Carajás Railroad (Estrada de Ferro Carajás, EFC). The research implemented maintenance engineering and reliability concepts from PCM on EFC's geotechnical assets. To achieve this, asset diagnosis and registration were carried out in the SAP PM system (SAP Plant Maintenance), along with the creation of a 52-week inspection schedule (52-Week Map). The study also evaluated maintenance strategy, developed loss profiles, and defined triggers for geotechnical asset failure analysis. The use of the SAP PM system was crucial in providing an integrated module for efficient maintenance activity management. Other significant contributions from the study include creating a taxonomy for locating geotechnical instruments along the railway, instrument registration, formulating inspection plans, analyzing maintenance notes to create loss profiles, identifying failures, and establishing triggers. The proposed methodology aims to mitigate risks, protect lives, and prevent disruptions in mineral transportation, particularly relevant in the context of rail transport—a vital phase of mining in Brazil.

**KEYWORDS:** Geotechnical Maintenance, Maintenance Planning and Control (PCM), Railway Slopes, Geotechnical Asset Management, Geotechnical Inspection

## 1 INTRODUÇÃO

A gestão de ativos geotécnicos em ferrovias é fundamental para garantir a segurança, confiabilidade e eficiência do sistema de transporte. Falhas nesses ativos, como taludes de corte e de aterro e obras de drenagem, podem gerar graves consequências, como interrupções no tráfego, danos à infraestrutura e impactos ambientais.

Este trabalho apresenta a análise da aplicação de uma metodologia abrangente para a gestão de ativos geotécnicos na Estrada de Ferro Carajás (EF-315), uma das maiores ferrovias de transporte de minério de ferro do Brasil. A metodologia se baseia em três pilares:

- (i) Planejamento e Controle de Manutenção (PCM): Implementação de estratégias de manutenção, identificação de falhas com antecedência e planejamento de intervenções considerando critérios de criticidade;
- (ii) Monitoramento: Inspeções periódicas e instrumentação para avaliar o estado dos ativos e identificar potenciais problemas;
- (iii) Análise de Riscos: Identificação e avaliação dos riscos geotécnicos associados à ferrovia, incluindo a análise de probabilidade e severidade de falhas.

A pesquisa busca contribuir para a compreensão da importância da gestão de ativos geotécnicos em ferrovias, bem como para o desenvolvimento de metodologias mais eficientes para a gestão de tais ativos.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Importância da Gestão de Ativos Geotécnicos

Stanley e Pierson (2013) enfatizam a necessidade de incorporar ativos geotécnicos como uma classe específica dentro da gestão de ativos de transporte. Eles argumentam que a coleta e a análise de dados sobre o desempenho e a condição desses ativos são cruciais para entender seu ciclo de vida e os custos associados. O conhecimento sobre protocolos de registro, gerenciamento de dados, previsão de condições, alternativas de reparo e otimização de investimentos são essenciais para melhorar o desempenho das rotas de transporte.

### 2.2 Benefícios da Manutenção de Ativos Geotécnicos

Thompson (2017) destaca os benefícios da manutenção regular para ativos geotécnicos, incluindo:

- Melhoria de desempenho e funcionalidade: A manutenção preserva a condição dos ativos, garantindo seu funcionamento adequado e minimizando interrupções no sistema de transporte.
- Vida útil estendida: Intervenções proativas podem prolongar a vida útil dos ativos, adiando a necessidade de reconstruções dispendiosas.
- Custo-benefício: A manutenção preventiva pode ser mais econômica do que a reconstrução ou substituição de ativos danificados.
- Mitigação de riscos: A manutenção reduz a probabilidade de falhas e interrupções causadas por eventos como deslizamentos de terra ou quedas de rochas.
- Preservação da segurança e mobilidade da rede: Ativos geotécnicos bem mantidos contribuem para a segurança geral e a fluidez do tráfego na rede de transporte.
- Alocação otimizada de recursos: O planejamento eficaz da manutenção permite alocar recursos de forma direcionada e eficiente, priorizando investimentos com base na condição e desempenho dos ativos.

### 2.3 Estudo de Caso: Críticidade de Ativos Geotécnicos em Ferrovias

Bernardes (2019) apresenta um estudo de caso sobre a análise da criticidade de taludes em ferrovias. A autora utiliza o método AHP (Analytic Hierarchy Process) para identificar os locais prioritários para inspeção e alocação de recursos, visando aumentar a resiliência e a segurança da rede ferroviária. O estudo demonstra a importância da gestão de ativos geotécnicos para garantir a segurança e a eficiência do sistema ferroviário.

A gestão dos ativos geotécnicos consiste em um conjunto de atividades sistemáticas e coordenadas através de um gerenciamento de acordo com a criticidade de cada estrutura definida pela organização. E segundo Baran (2011), a análise do grau de criticidade é uma metodologia que permite mensurar o impacto de que um determinado ativo tem sobre os objetivos da empresa que contribuirá com a direção do grau de urgência para o processo de reparação.

## 3 ÁREA DE ESTUDO

A Estrada de Ferro Carajás (EF-315), operada pela mineradora Vale S.A., é uma ferrovia diagonal brasileira com 892 km de extensão em bitola larga. Ela percorre os estados do Maranhão e Pará, ligando o Porto de Ponta da Madeira, no município de São Luís (MA), a Marabá e Parauapebas (PA). Sua denominação no Plano Nacional de Viação é EF-315, mas também é conhecida como Ponta da Madeira-Carajás (Figura 1).

Apesar dos desafios enfrentados pelo transporte de passageiros de longa distância no Brasil, esta ferrovia transportou quase 400 mil pessoas em 2023. É uma das maiores ferrovias de transporte de passageiros em operação no Brasil, possuindo 5 estações e 10 paradas, percorrendo São Luís (MA), Santa Inês (MA), Açailândia (MA), Marabá (PA) e Parauapebas (PA).

Entretanto, a EF-315 é especializada no transporte de cargas minerais, extraídas das minas da Serra dos Carajás, e levadas até os portos da Baía de São Marcos no Maranhão para exportação. Por seus trilhos, são transportados milhões de toneladas de carga todos os anos.

A história da EF-315 está atrelada ao surgimento, desenvolvimento e exploração do Programa Grande Carajás (PGC). As obras da ferrovia se iniciaram em 1982 e foram finalizadas em 1985, com a inauguração da ferrovia pelo então presidente João Baptista de Oliveira Figueiredo.



Figura 1: Vista geral da linha férrea EFC

## 4 METODOLOGIA

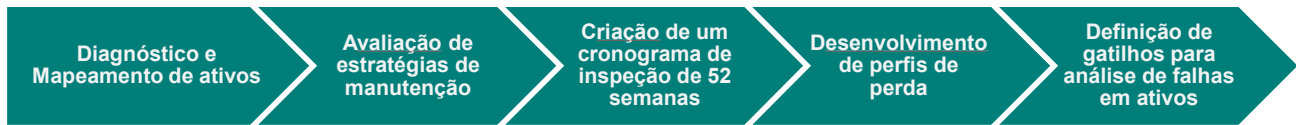


Figura 2. Fluxograma da metodologia utilizada.

Conforme evidenciado na Figura 2 acima, o processo de revisão e cadastro de ativos inicia-se com o mapeamento da localização de todos os ativos sob responsabilidade da equipe de manutenção. A partir desse mapeamento, são levantadas, organizadas e mantidas informações importantes sobre cada ativo, incluindo uma codificação para o local em que se encontra o ativo. Esse processo permite um controle efetivo, facilita o planejamento de manutenções preventivas e preditivas, e contribui para a redução de custos e a eficiência na gestão dos ativos, garantindo a operação confiável.

Com base no mapeamento e caracterização dos ativos, uma estratégia de manutenção abrangente é estabelecida. A estratégia de manutenção de ativos é um guia abrangente para manter os ativos em ótimas condições, garantindo a operação confiável da empresa. Ela envolve a escolha dos tipos de manutenção (preventiva, preditiva ou corretiva), o planejamento e programação das intervenções, o monitoramento contínuo e a avaliação do desempenho dos ativos. O objetivo é prolongar a vida útil, melhorar o desempenho e reduzir falhas inesperadas, contribuindo para a eficiência operacional e a redução de riscos.

A partir da estratégia de manutenção um mapa de 52 semanas é elaborado, servindo como guia para o planejamento e organização das atividades de manutenção ao longo do ano. O mapa de 52 semanas na engenharia de manutenção e confiabilidade de ativos é uma ferramenta essencial para o planejamento e organização das atividades de manutenção ao longo do ano. Ele contém todas as Ordens de Serviço (OSs) e os planos de manutenção periódicos, permitindo acompanhar as intervenções programadas, evitar paradas inesperadas e otimizar os recursos da empresa.

Através da construção de árvores de falha, são criados perfis de perdas para os ativos geotécnicos. As árvores de falha são uma ferramenta útil para criar perfis de perdas de ativos. Elas identificam e quantificam os riscos de falha, desde falhas básicas até falhas complexas, incluindo fatores humanos e externos. Através da construção de uma estrutura hierárquica e análise probabilística, as árvores de falha fornecem uma visão holística do perfil de perdas e auxiliam na tomada de decisões estratégicas para otimização de recursos e mitigação de perdas.

Para garantir a confiabilidade dos ativos e prevenir perdas, gatilhos para análise de falhas são estabelecidos. A análise de falhas em ativos é fundamental para identificar as causas raízes de problemas, prevenir custos e perdas, e promover a melhoria contínua. Por meio dela, é possível otimizar a manutenção preventiva, garantir a confiabilidade dos equipamentos e evitar paradas de produção inesperadas. Os gatilhos na análise de falhas em ativos são os eventos ou condições que disparam a investigação e o processo de análise. Esses gatilhos podem incluir falhas recorrentes, desvios de desempenho, eventos críticos, mudanças operacionais e feedback de monitoramento.

## 5 RESULTADOS

A primeira etapa envolveu a coleta e análise dos dados de cadastros de ativos geotécnicos existentes no sistema SAP (Figura 3). A qualidade dos dados foi cuidadosamente avaliada, identificando inconsistências entre as bases de dados existentes e o SAP, lacunas no cadastro e confiabilidade questionada. Com base nessa análise, foi elaborada uma nova base de dados mais confiável e completa seguindo uma taxonomia padronizada.



Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6
Ferrovia	Trecho	Tipo de ativo	linha	Localização do ativo	Ativo filho

**EFCJ-LPR-INFRCTE-L0001-E0328415-IGPZ01**

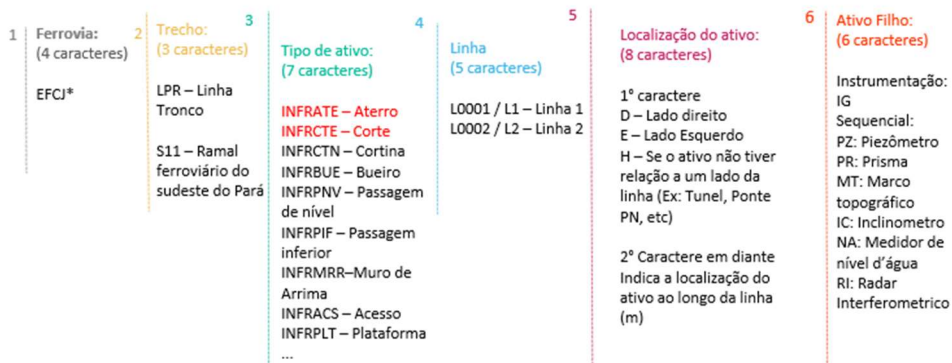


Figura 3: Taxonomia para o cadastro dos ativos da ferrovia.

A estratégia de manutenção atualmente estabelecida é que os ativos com classificação de risco definido como médio, alto e muito alto sejam inspecionados a cada 12, 6 e 4 meses, respectivamente. Ativos com classificação risco muito baixo e baixo são inspecionados apenas sob demanda. O estudo propõe que todos os ativos geotécnicos sejam inspecionados uma vez por ano, pelo menos, independente do risco. De forma expositiva, a seguir é apresentado na Tabela 1 para elucidar os cenários.

Tabela 1: Tabela comparativa entre cenários de inspeção atual e proposto.

Risco	Classificação	Frequência de inspeções atual (meses)	Frequência de inspeções propostas (meses)
R1	Muito baixo	Sob demanda	12
R2	Baixo	Sob demanda	8
R3	Médio	12	6
R4	Alto	6	4
R5	Muito alto	4	2

Um mapa de inspeção foi criado e traduzido no sistema SAP para garantir que todos os ativos geotécnicos das categorias R3, R4 e R5 fossem inspecionados pelo menos uma vez por ano. Isso facilita a gestão dos riscos geotécnicos e garante uma abordagem sistemática para as inspeções. A seguir o mapa de 52 semanas de alguns ativos geotécnicos (Figuras 4 e 5).

ATIVIDADE	TALUDE	CICLO	INSPEÇÃO GEOTÉCNICA EM TALUDE EFC – MAPA 52 SEMANAS ANO 2024 – SAP																										
			JAN				FEV				MAR				ABR				MAI				JUN						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
INSPEÇÃO GEOTÉCNICA EM TALUDE	KM 315,860 AO KM 316,080	90 Dias			P	24																							
	KM 347,335 AO KM 348,045				P	24									P	5													
	KM 328,415 AO KM 329,280				P	24									P	24													
	KM 87,890 AO KM 90,050	180 Dias																									P	13	
	KM 356,890 AO KM 359,765		P	9																									
	KM 562,556 AO KM 562,904																					P	14						
	KM 665,070 AO KM 666,048	365 Dias																									P	14	
	KM 2,230 AO KM 2,840														P	22													
	KM 301,820 AO KM 302,360																												
	KM 563,144 AO KM 563,214		P	19																									
	KM 350,275 AO KM 353,658																												
	KM 568,436 AO KM 568,548																												
	KM 568,548 AO KM 568,872																												
	KM 779,624 AO KM 779,778																												
	KM 786,385 AO KM 786,871																												

Figura 4: Mapa de 52 semanas de alguns ativos geotécnicos – Primeiro semestre 2024.

ATIVIDADE	TALUDE	CICLO	INSPEÇÃO GEOTÉCNICA EM TALUDE EFC – MAPA 52 SEMANAS ANO 2024 – SAP																									
			JUL				AGO				SET				OUT				NOV				DEZ					
			27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
INSPEÇÃO GEOTÉCNICA EM TALUDE	KM 315,860 AO KM 316,080	90 Dias																										
	KM 347,335 AO KM 348,045																											
	KM 328,415 AO KM 329,280																											
	KM 87,890 AO KM 90,050	180 Dias																										
	KM 356,890 AO KM 359,765																											
	KM 562,556 AO KM 562,904																											
	KM 665,070 AO KM 666,048	365 Dias																										
	KM 2,230 AO KM 2,840																											
	KM 301,820 AO KM 302,360																											
	KM 563,144 AO KM 563,214																											
	KM 350,275 AO KM 353,658																											
	KM 568,436 AO KM 568,548																											
	KM 568,548 AO KM 568,872																											
	KM 779,624 AO KM 779,778																											
	KM 786,385 AO KM 786,871																											

Figura 5: Mapa de 52 semanas de alguns ativos geotécnicos – Segundo semestre 2024.

Um perfil de perdas foi desenvolvido para a ferrovia, focando nas inspeções geotécnicas do sistema maciço. O perfil inclui diversos componentes como drenagem interna e superficial, encostas, sinalização, contenção e instrumentação geotécnica, permitindo a avaliação e análise das possíveis perdas e falhas dos ativos geotécnicos na ferrovia além de direcionar qual ação necessária após a identificação do defeito ou falha encontrada no momento da inspeção. O fluxo abaixo representa uma parcela do perfil de catálogo (Figura 6), que nesse caso, é relativo ao maciço do talude da ferrovia.

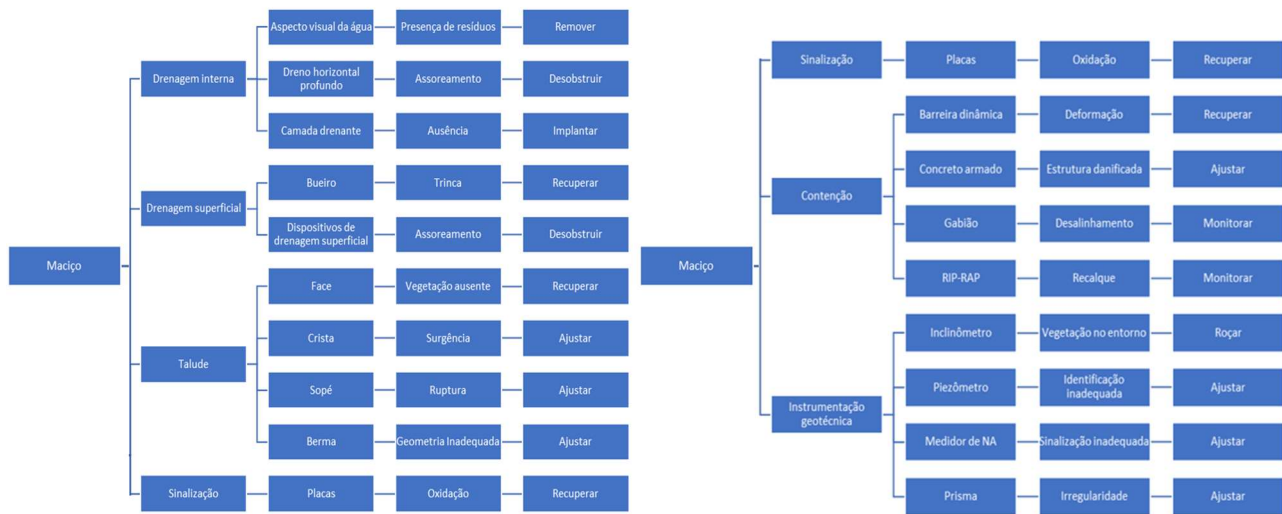


Figura 6: Fluxo parcial do perfil de catálogo.

Gatilhos foram criados para definir falhas críticas ou rotineiras, levando em consideração o impacto na operação e a repetibilidade dos eventos. Exemplos de gatilhos incluem deslizamentos ou rupturas em taludes, indícios de movimentação de massa (trincas ou rachaduras), assoreamento em dispositivos de drenagem e falhas em estruturas de contenção. Diversos fatores foram considerados na criação dos gatilhos, como impacto na operação, repetibilidade dos eventos, criticidade do ativo, aspectos de custo, saúde, segurança, meio ambiente, comunidade e risco ao negócio. A Tabela 2 representa exemplos de gatilhos criados para os taludes de ferrovia. Por definição, gatilhos são eventos ou condições que iniciam uma investigação e análise de falhas, como, por exemplo, falhas recorrentes, desvios de desempenho, eventos críticos, mudanças operacionais e feedback de monitoramento.

Tabela 2: Exemplo de gatilho criado para taludes de ferrovia.

Gatilhos – Estrutura Geotécnica					
Gatilho	Classificações	Critério (condição/ consequência)	Duração	Aplicabilidade	Prazo de conclusão da análise
Tempo	Deslizamentos ou rupturas em taludes	Interrupção da circulação ferroviária	Imediato	Taludes de ferrovia EFC/RFSP	30 dias após gatilhos a entrega do relatório
Outro	Deslizamentos ou rupturas em taludes	Talude distante até 3m da via-férrea.	N.A.	Taludes de ferrovia EFC/RFSP	30 dias após gatilhos a entrega do relatório
Repetibilidade	Deslizamentos ou rupturas em taludes	Após recuperação da ruptura do talude no mesmo ponto indicado no “gatilho outro” – com o mesmo modo de falha.	1 < tempo < 6 (unidade: mês)	Taludes de ferrovia EFC/RFSP	30 dias após gatilhos a entrega do relatório
Solicitação Gerencial	Deslizamentos ou rupturas em taludes	Solicitação gerencial das lideranças da manutenção do negócio.	N.A.	Taludes de ferrovia EFC/RFSP	30 dias após gatilhos a entrega do relatório

## 6 CONCLUSÃO

Este estudo ressalta a aplicação de um sistema de gestão da manutenção de ativos geotécnicos em ferrovias, com o objetivo de aprimorar a confiabilidade desses ativos por meio da criação de uma base de dados robusta, adoção de uma estratégia de manutenção abrangente e outras ferramentas. Esses incluem melhorias na gestão, prolongamento da vida útil dos ativos, maior controle das intervenções, visão holística do perfil de perdas, identificação rápida das causas raízes de problemas e gestão eficaz dos riscos geotécnicos. A gestão da manutenção de ativos geotécnicos em ferrovias é essencial para a confiabilidade e desempenho desses ativos. Isso envolve otimizar recursos, prolongar sua vida útil, prevenir falhas e promover a segurança e eficiência da operação ferroviária. Além disso, a gestão de ativos geotécnicos é fundamental para a segurança e o desempenho de infraestruturas de transporte em geral.

## AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos à Vale S.A. pela disponibilização dos dados relativos à manutenção de ativos geotécnicos da Estrada de Ferro Carajás. Ressalta-se que tal contribuição foi fundamental para a execução do presente estudo, e a disposição da empresa em colaborar nesse sentido é profundamente apreciada. O compromisso da Vale S.A. com a transparência e o compartilhamento de dados críticos é de suma importância, pois contribui significativamente para o avanço do conhecimento científico sobre o comportamento de taludes em ferrovias. Ademais, tal iniciativa permite o desenvolvimento e implementação de medidas de segurança mais eficazes nesse tipo de infraestrutura, que é vital para a indústria de mineração.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARAN, Leandro Roberto. Manutenção Centrada em Confiabilidade aplicada na Redução de Falhas: um estudo de caso. 2011. 102 fls. Monografia (Especialização em Gestão Industrial: Produção e Manutenção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2011.
- Bernardes, A. P. S. (2019). Estudo da criticidade de ativos geotécnicos do tipo corte em ferrovia com o uso do processo de análise hierárquica (AHP) (Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.
- CYRINO, L. Classificação ABC de máquinas e equipamentos. 2016. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/classificacao-abc/>. Acesso em: 26 de fevereiro de 2024.
- Kardec, A., Esmeraldo, J., Lafraia, R.J., Nascif, J. – Gestão de Ativos. 2011 Editora Qualitymark.
- SIQUEIRA, I. P. Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implantação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.
- Stanley, D. A., & Pierson, L. A. (2013, April). Geotechnical Asset Management of Slopes: Condition Indices and Performance Measures. In *Geotechnical Special Publication* (Vol. 231, pp. 1471-1482). American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Thompson, P. D. (2017, June 30). Geotechnical Asset Management Plan (Technical Report No. STP000S(802)(B)). Alaska Department of Transportation & Public Facilities, Statewide Research Office.