



KATIANNY KARLLA SOARES NEPOMUCENO DE SÁ

ANÁLISE DE CENÁRIOS PARA INSPEÇÃO COM ROBÔS MÓVEIS

Ouro Preto, MG

2022

KATIANNY KARLLA SOARES NEPOMUCENO DE SÁ

ANÁLISE DE CENÁRIOS PARA INSPEÇÃO COM ROBÔS MÓVEIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Tecnológico Vale, como parte dos requisitos para obtenção do título de especialista em Automação para processos de mineração.

Área de concentração:

Orientador: Jacó Domingues

Ouro Preto, MG

2022

Título: Análise de cenários para inspeção com robôs móveis

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)

S112a

Sá, Katianny karlla Soares Nepomuceno de
Análise de cenários para inspeção com robôs móveis. Katianny karlla
Soares Nepomuceno de Sá.... [et al.] - Ouro Preto, MG: ITV, 2022.

39 p.: il.

Monografia (Especialização latu sensu) - Instituto Tecnológico Vale, 2022.
Orientador: Jacó Domingues

1. Mineração. 2.TCLD. 3. Moinho. 4. Robôs. I. Domingues, Jacó. II.
Título.

CDD.23. ed. 629.82

Katianny Karlla Soares Nepomuceno de Sá

ANÁLISE DE CENÁRIOS PARA INSPEÇÃO COM ROBÔS MÓVEIS

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

Orientador: Prof. MSc. Jacó Dias Domingues

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em 15 de dezembro de 2022 pela banca examinadora constituída pelos professores:

Prof. MSc. Jacó Dias Domingues
Orientador – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Prof. D.Sc. Gustavo Pessin
Membro interno – Instituto Tecnológico Vale (ITV)

Prof. MSc. Filipe Augusto Santos Rocha
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/AB96-9FDE-DF04-F52E> 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/AB96-9FDE-DF04-F52E> 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: AB96-9FDE-DF04-F52E



Hash do Documento

C8E626E7D6C75D2E4EA79C7CEB02A894E4C914E564349F18D6C090B744B6157A

O(s) nome(s) indicado(s) para assinatura, bem como seu(s) status em 04/01/2023 é(são) :

- Filipe Augusto Santos Rocha (Signatário) - em 04/01/2023 09:32 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: filipe.augusto.rocha@pq.itv.org

Evidências

Client Timestamp Wed Jan 04 2023 09:32:42 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Location not shared by user.

IP 186.206.254.179

Hash Evidências:

D999A71731D04F960F05212F7C0CFC91DBF9DA2910190B491AEBCB8E8C63DF8B

- Jacó Dias Domingues (Signatário) - 112.250.696-10 em 04/01/2023 08:55 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: jaco.domingues@itv.org

Evidências

Client Timestamp Wed Jan 04 2023 08:55:43 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -22.9376 Longitude: -46.5502208 Accuracy: 4232.247180863995

IP 132.255.38.124

Hash Evidências:

818B651217340736A0B1D5C1BA191225361DC7E997A28E34A5F9241D2886AB9D

- Gustavo Pessin (Signatário) - 939.084.900-49 em 03/01/2023 11:19 UTC-03:00

Tipo: Assinatura Eletrônica

Identificação: Por email: gustavo.pessin@itv.org

Evidências

Client Timestamp Tue Jan 03 2023 11:19:24 GMT-0300 (Horário Padrão de Brasília)

Geolocation Latitude: -19.9589349 Longitude: -43.935013 Accuracy: 18.656

IP 177.205.131.145

Hash Evidências:

BBAEF893514B14CDAE84371033ACB9CC82031B787BF313F87061EAC518CCFB00



AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a DEUS pelo dom da vida e tudo mais que ele me deu ao longo desse 30 e poucos anos...

A minha família: Anderson, Joaquim, Mãe, Pai, Elly, Kaio, Luidy, Luiz Fernando e Albertino
Obrigada por tudo sempre, AMO VOCÊS!

Ao Jacó e Pessin pelo apoio ao longo de todo o curso.

E a Vale e ITV pela oportunidade de aprendizagem, desenvolvimento e crescimento.

RESUMO

A mineração possui várias oportunidades de melhorias nas execuções das inspeções industriais visando melhoria na saúde e segurança dos ativos e das pessoas. Essa monografia descreve sobre Análise de cenários para inspeção com robôs móveis e será apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Automação de Processos Mineraias como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de especialista em Automação de Processos Mineraias.

Palavras-chave: Mineração. TCLD. Moinho. Robôs.

Fase da Cadeia: Manutenção.

ABSTRACT

Mining has several opportunities for improvements in the execution of industrial inspections aimed at the health of assets and safety of people involved. This monograph describes Scenario Analysis for Inspection with Mobile Robots and will be presented to the Graduate Program in Mineral Process Automation as part of the necessary requirements for obtaining the title of specialist in Mineral Process Automation.

Keywords: Mining. TCLD. Mill. robots.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mina de Timbopeba.....	15
Figura 2: Fluxograma de Inspeção Preditiva e Sensitiva	18
Figura 3: Resultado de inspeção realizada no TC413.....	19
Figura 4: Critérios de notas de manutenção	19
Figura 5: EspeleoRobô.....	21
Figura 6: ROSI – Realização de teste de inspeção no TCLD – Timbopeba.....	22
Figura 7: Anymal subindo escada.....	23
Figura 8 : Destacado em vermelho as correias transportadoras que compõe sistema de transportadores de correia de longa distância (TCLD), responsável por transportar o minério da mina de Fabrica nova para a usina de Timbopeba.....	25
Figura 9: Ponte pênsil por onde passa o TC411 do TCLD.....	26
Figura 10: Fluxograma do Projeto Mina de Fábrica Nova.....	27
Figura 11: Foto do equipamento TC415 que compõe TCLD, na chegada da usina de Timbopeba tem uma travessia aérea com cerca de 40m de altura.....	28
Figura 12: Regras Escalation Notice.....	29
Figura 13: Rompimento de uma das correias do TCLD.....	30
Figura 14: Furos na lona da correia – causa primária do acidente Erro! Indicador não definido.	
Figura 15: ROSI realizando inspeção no TC143 – Timbopeba.....	31
Figura 16: Desenho esquemático do moinho de bolas.....	33
Figura 17: Revestimento interno do moinho de bolas – Mina de Timbopeba.....	33
Figura 18: Revestimento combinado – Aço e borracha.....	34
Figura 19: Inspeções com scanner. Cores do revestimento representam a espessura das peças, sendo as cores quentes de menor espessura e as cores frias de maior espessura.....	35

Figura 20: Gráfico de espessura do revestimento x horas operadas, e perfil de desgaste dos revestimentos do moinho. 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comprimento dos TCLD	27
---	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ITV: Instituto Tecnológico Vale.

TCLD: Transportador de Longa Distância

VINSPEC: Sistema Especialista de Inspeção Integrada

SAP: Systemanalysis Programmentwicklung

PNR: Procedimento Normativo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivos gerais e específicos	15
1.1.1	Objetivos específicos.....	15
1.2	Estrutura da Monografia	16
2	FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA.....	17
2.1	Tipos de Inspeção.....	17
2.2	Inspeção Robotizada.....	20
3	IDENTIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES.....	24
3.1	Inspeção em túneis e galerias do TCLD.....	24
3.2	Inspeção em moinho de bolas	32
4	CONCLUSÃO.....	37
	REFERÊNCIAS.....	38

1 INTRODUÇÃO

A mineração abrange os processos e atividades cujo objetivo é a extração de substâncias minerais, sendo uma atividade indispensável para a manutenção do nível de vida e avanço das sociedades.

As principais fases da Mineração são a lavra e o beneficiamento do minério. No Beneficiamento existem vários subprocessos como britagem, transporte, classificação, reclassificação moagem, reagentes, flotação, filtragem e tratamento de rejeitos. Um circuito completo de beneficiamento, como por exemplo, o da usina de Timbopeba envolve centenas de equipamentos e demandam grandes esforços em manutenção e operação adequada dos ativos, visando melhores resultados em saúde, segurança, qualidade, produção e custo.

As atividades de inspeção são fundamentais na eficiência de um processo de manutenção industrial, e, além da grande importância de sua qualidade técnica, ela também envolve riscos aos executantes. Este trabalho aborda dois cenários onde os robôs podem atuar, retirando as pessoas do risco e trazendo inúmeros benefícios para as pessoas e os processos.

Serão avaliadas oportunidades de utilização destes recursos na Mina de Timbopeba (

Figura 1), uma das 4 unidades operacional que compõe o Complexo Mariana da Vale (Alegria, Fazendão, Fábrica Nova e Timbopeba).

Figura 1: Mina de Timbopeba.



Fonte: Acervo Vale.

1.1 Objetivos gerais e específicos

O objetivo geral desta monografia é analisar possíveis cenários para inspeção de equipamentos utilizando robôs móveis, visando melhoria na qualidade técnica e reduzindo o risco de segurança dos trabalhadores durante este processo.

1.1.1 Objetivos específicos

Como objetivos específicos desta monografia estão incluídos:

- Analisar o cenário de inspeção com robôs no moinho de bolas da Mina de Timbopeba;
- Analisar o cenário de inspeção com robôs no Transportador de Correias de Longa Distância (TCLD) que é responsável por transportar material da Mina de Fábrica Nova para Mina de Timbopeba;
- Apresentar como o uso dos robôs pode aumentar a confiabilidade das inspeções;
- Diminuir custo com a troca de lona de correia transportadora e revestimento de moinho.

1.2 Estrutura da Monografia

Este trabalho de monografia está estruturado da seguinte forma:

- O capítulo 1, “Introdução”, faz uma abordagem inicial do tema manutenção e inspeção aplicada na indústria de mineração. Descreve os objetivos gerais e específicos do trabalho, justificando sua relevância para o tema da inspeção robotizada e os benefícios esperados em sua aplicação dentro da unidade industrial proposta.
- O capítulo “Fundamentação Científica” faz um apanhado sobre o tema de inspeção de manutenção industrial, trazendo sua relevância legal prevista na Norma Regulamentadora nº 12, e tipos de inspeção robotizada utilizadas atualmente.
- O capítulo 3, apresenta os estudos de caso e avaliação das oportunidades de aplicação de inspeção robotizada na unidade de Timbopeba da Vale. Trazendo uma visão geral a respeito de cada processo, os equipamentos ao qual seriam aplicados e os benefícios esperados em cada caso.

- A conclusão, capítulo 4, ressalta as possibilidades de aplicação da tecnologia de inspeção robotizada em benefício às pessoas e ao negócio, destacando o alinhamento do tema aos objetivos estratégicos da empresa.

2 FUNDAMENTAÇÃO CIENTÍFICA

A Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12), do Ministério do Trabalho, estabelece os procedimentos a serem adotados pelas empresas para garantir a segurança e saúde do trabalhador. Um item fundamental para atender a essa norma é a inspeção de equipamentos na indústria.

Inspeções industriais ocorrem de forma programada seguindo planos de manutenção já cadastrados no SAP (Sistema de Manutenção), realizadas em intervalos periódicos, onde são gerados relatórios no sistema Vinspec². As inspeções buscam identificar eventuais problemas técnicos, a fim de propor o reparo ou acionar verificações detalhadas, focada especificamente no problema identificado. Após a identificação desses problemas o time da inspeção abre no SAP¹ notas de manutenção para reparo das anomalias. Quando realizamos a inspeção identificamos desgastes e mudanças de configuração que podem levar a falhas de funcionamento.

A inspeção realizada da maneira correta evita a ocorrência de acidentes que colocam em risco os trabalhadores e a interrupção de processos por causa da impossibilidade de uma máquina operar, levando a atrasos na produção e prejuízos à empresa.

A inspeção nos equipamentos é fundamental para evitar problemas envolvendo a integridade das pessoas, equipamentos e perdas de produção.

2.1 Tipos de Inspeção

Inspeção sensitiva:

Na inspeção sensitiva os inspetores utilizam os sentidos (visão, olfato e audição) para inspecionar os equipamentos de acordo com o parâmetro que deseja investigar.

Através da inspeção sensitiva é possível verificar, por exemplo, ruídos diferentes, trinca ou desgaste de material, cheiro ou enxergar vazamentos.

¹ Software de gestão de empresas da empresa Alemã SAP SE (www.sap.com).

² Sistema Especialista de Inspeção Integrada

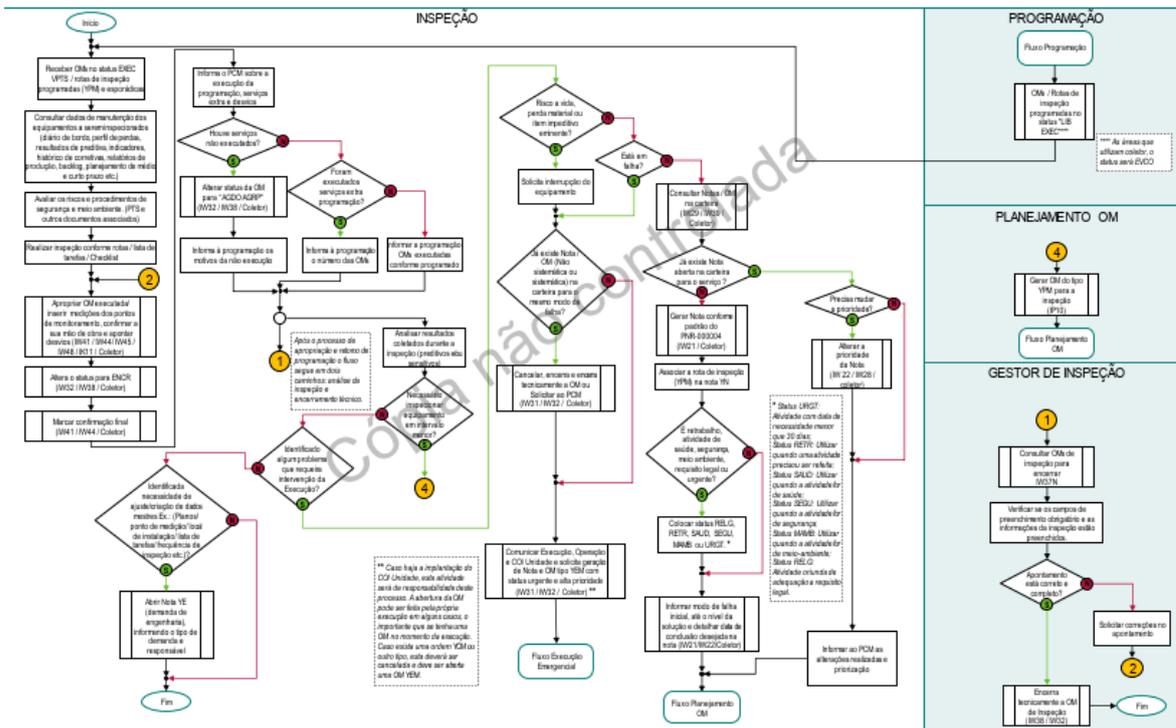
Os pontos positivos são baixo custo e facilidade na identificação das anomalias e os pontos negativos são que requer treinamentos, práticas e tempo.

Inspeção preditiva:

Na inspeção preditiva é monitorado um equipamento acompanhando os seus parâmetros. Na inspeção preditiva utilizamos softwares de medição exemplo o daynamox, que fazem medições e coletam dados, tais como temperatura, pressão, corrente e quando é identificado uma anomalia um sinal é emitido na tela sinalizando o problema. Com base nos dados é feita uma análise mais detalhada, para mitigação e correção do problema. O PNR 000004 – Planejamento e Controle da Manutenção possui um fluxo detalhado da inspeção preditiva e sensitiva (Figura 2).

Figura 2: Fluxograma de Inspeção Preditiva e Sensitiva

Fluxograma de Inspeção Preditiva e Sensitiva



Fonte: PNR000004 – Vale.

Na Vale estamos utilizando o Vinspec que é o sistema especialista utilizado pelas equipes de inspeção das plantas do Corredor Sul e Sudeste para controle das inspeções. Neste sistema são cadastradas as rotas, pontos de inspeção e checklists necessários para o monitoramento dos ativos. O sistema está disponível nas versões WEB e Mobile. Como

resultado dessa inspeção o Vinspec retorna com dados e alertas para os usuários conforme exemplo abaixo (Figura 3).

Figura 3: Resultado de inspeção realizada no TC413.



Fonte: PRO-025600 - 03 - Anexo 2 - Critérios das Notas Codificadas.

Dentro do VINSPEC, existe as rotas de vibração, inspeção mecânica e inspeção elétrica, cadastrado ponto a ponto. As notas de manutenção oriundas das inspeções seguem prioridade conforme Figura 4 abaixo:

Figura 4: Critérios de notas de manutenção

Descrição da Nota	Conceito
P0 VER E AGIR / RISCO DE FALHAR MENOR QUE 15 DIAS.	Já houve uma ação para o problema ou <u>necessita</u> de Nota de Manutenção no SAP-PM com tratamento emergencial diretamente com o PCM.
P1 ACOMPANHAR	Não será objeto de estudo isolado, mas poderá compor análise de ativos devido problemas mais críticos.
P2 RISCO DE FALHAR ACIMA DE 121 DIAS	Não será objeto de estudo isolado, mas poderá compor análise de ativos devido problema mais crítico.
P3 RISCO DE FALHAR DE 91 A 120 DIAS	

Descrição da Nota	Conceito
P4 RISCO DE FALHAR DE 31 A 90 DIAS	Será avaliado pelo CMA. É obrigatório a criação de Nota de Manutenção no sistema SAP-PM.
P5 RISCO DE FALHAR DE 15 A 30 DIAS	
Descrição da Nota	Conceito
P6 SUPORTE CMA (DE 8 A 14 DIAS)	Necessidade de suporte técnico com prazo para atendimento de 08 a 14 dias após recebimento no CMA.
P7 SUPORTE CMA (DE 4 A 7 DIAS)	Necessidade de suporte técnico com prazo para atendimento de 04 a 07 dias após recebimento no CMA.
P8 SUPORTE CMA (ATÉ 3 DIAS)	Necessidade de suporte técnico imediato, com prazo para atendimento de até 03 dias após recebimento no CMA.

Fonte: PRO-025600 - 03 - Anexo 2 - Critérios das Notas Codificadas.

2.2 Inspeção Robotizada

Segundo Siciliano e Khatib (2016), os robôs são máquinas que possuem capacidade de executar uma série de ações automaticamente, interpretando e raciocinando sobre uma tarefa e sua execução. Os robôs móveis possuem capacidade de locomoção pelos ambientes e são usados principalmente em aplicações onde são necessários grandes deslocamentos ou ambientes inadequados para a permanência do ser humano eliminando assim a presença de pessoas nessas atividades de risco. A utilização de baterias reservas e comunicação locais permite o uso desses equipamentos mesmo em ambiente com poucos recursos de energia e comunicação.

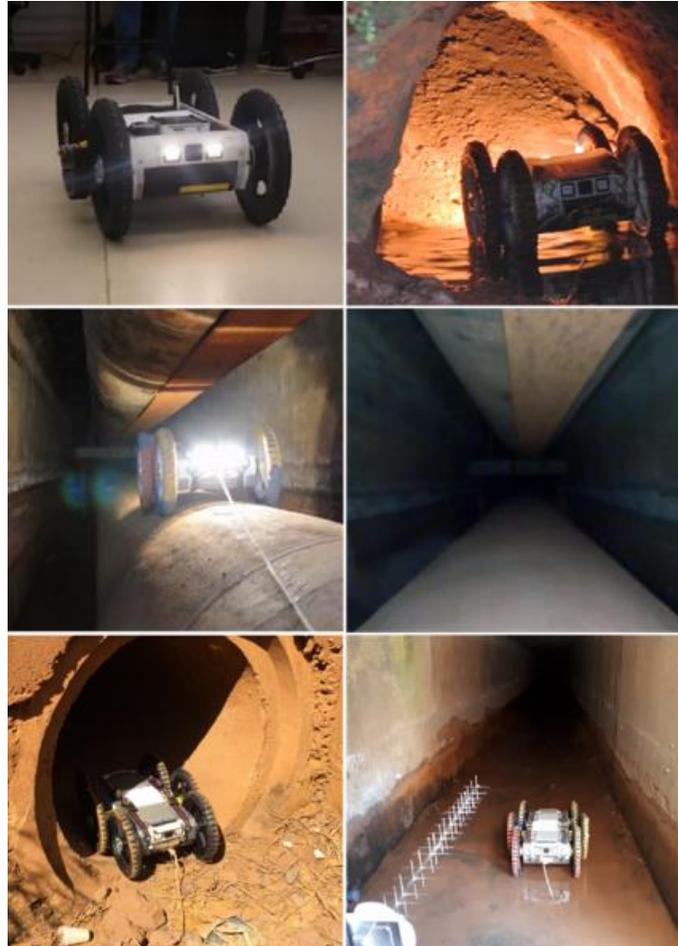
A aplicabilidade de robôs moveis para realização de atividade de inspeção é vasta, tais como:

- EspeleoRobô – Utilizado para realizar mapeamentos em cavernas, dutos e galerias (Figura 5).

O EspeleoRobô foi criado com o objetivo de diminuir a exposição de pessoas a situações de risco durante a atividade em espaços confinados. O EspeleoRobô pode coletar diversos dados, como imagens de vídeo de alta qualidade e telemetria do robô, que podem ser analisados a fim de antecipar os riscos do ambiente e evitar acidentes.

O EspeleoRobô contém sistema de iluminação Stratus LED 100W, câmera de transmissão de imagens e LIDAR.

Figura 5: EspeleoRobô.



Fonte: ITV.

- ROSI – Utilizado para diversos tipos de inspeções industriais (Figura 6).

A ROSI foi desenvolvida pelo ITV em colaboração com UFRJ para ser uma ferramenta de inspeção em áreas operacionais. Possui sensores de vibração, câmeras, braço manipulador e atuadores mecânicos tais como garras e pinça e um sistema de tração híbrido com rodas e braços de esteiras, devido ao sistema de rodas e esteiras (*flipper*), consegue subir e descer escadas e atravessar linhas férreas, desta forma, também consegue se mover pelo TCLD, inspecionando assim túneis e galerias.

Figura 6: ROSI – Realização de teste de inspeção no TCLD – Timbopeba.



Fonte: ITV.

- Anymal – utilizado para realizar inspeção e monitoramento de locais e equipamentos (Figura 7).

O Anymal foi desenvolvido ANYbotics com o objetivo de realizar inspeções industriais de maneira autônoma retirando os empregados de atividades de inspeção em espaços estreitos, escuros e perigosos. O Anymal é capaz de capturar com sucesso dados visuais, térmicos e acústicos em vários pontos de inspeção. O principal ganho com a utilização de robôs nas inspeções industriais é a segurança das pessoas e dos ativos.

Figura 7: Anymal subindo escada.



Fonte: Acervo Vale.

3 Identificação de oportunidades

O processo produtivo depende fortemente do transporte de minério através de correias transportadoras e da moagem para o processo de cominuição. Os equipamentos envolvidos demandam grande investimento de instalação, operação, e grandes esforços de inspeção e manutenção para manter o correto funcionamento, minimizando os riscos operacionais de produção e segurança.

Acidentes com correias transportadoras e moinhos ocorrem com uma certa frequência na mineração. A motivação para a utilização de robôs em processo de inspeção visa a melhorar a qualidade da inspeção realizada, reduzindo os riscos de acidentes operacionais e reduzindo os riscos relacionados aos próprios processos de inspeção, como:

- Exposição do empregado a espaço confinado (interior do moinho, túneis de correias)
- Área remota;
- Animais peçonhentos;
- Bloqueio de equipamento;
- Ambiente ergonomicamente inadequados (alta temperatura, umidade, iluminação deficiente e piso irregular).

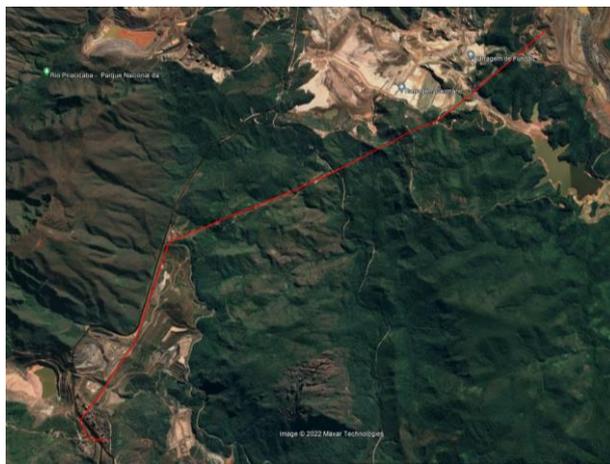
Diante disso encontramos dois cenários para inspeção com robôs móveis:

3.1 Inspeção em túneis e galerias do TCLD

Segundo Santos (2012), as correias transportadoras são amplamente utilizadas dentro da mineração devido as suas inúmeras vantagens como: baixo custo, segurança de operação, confiabilidade e grande capacidade produtiva. O sistema é basicamente formado por uma correia sem fim, a qual é estendida entre dois tambores (motriz e de retorno) e sua estrutura é construída com perfis laminados de aço carbono e roletes justapostos, sobre os quais a correia desliza, com baixo atrito, possibilitando a movimentação de cargas pesadas com baixo consumo de energia.

Na Mina de Fábrica Nova (Figura 8) o minério é descarregado diretamente dos caminhões no britador giratório primário BR-311 e por gravidade o produto britado alimenta o silo SI-311 com capacidade de 150 m³ equivalente a descarga de 2 caminhões modelo CAT 785.

Figura 8 – Destacado em vermelho as correias transportadoras que compõe sistema de transportadores de correia de longa distância (TCLD), responsável por transportar o minério da mina de Fábrica nova para a usina de Timbopeba.



Fonte: Google Earth.

Adicionalmente, há uma área próximo ao britador, para formação de uma pilha de ROM com cerca de 40 mil toneladas, a ser retomada por pá carregadeira em casos de parada da mina. Esta pilha é formada pelo basculamento direto de caminhões. O silo é dotado de um sistema que indica níveis mínimo e máximo, sendo que o nível mínimo desliga o alimentador de sapatas e o nível máximo sinaliza para impedir o basculamento de caminhões. O alimentador de sapatas AL-312, alimenta o transportador de correia TC-341, provido de balança BL-341, que leva o minério até o divisor de fluxo DF-321, alimentando as peneiras vibratórias PE-321 e PE-322. A fração retida nas peneiras, acima de 3”, será descarregada no transportador de correia TC-343, dotado de detetor de metais DM-340, que alimenta o britador cônico secundário BR-331. A fração passante nas peneiras, abaixo de 3”, é recolhida pelo transportador de correia TC-342, alimentando o transportador de correia TC-344 – 48”, que recebe também o produto do britador BR-331.

Figura 9 – Ponte pênsil por onde passa o TC411 do TCLD.



Fonte: Acervo Vale.

O minério do transportador de correia TC-344 forma uma pilha pulmão, com o objetivo de regularização do fluxo de alimentação do sistema de transportadores de longa distância. O alimentador de sapatas AL-346, recuperar o minério estocado, alimentando o transportador de correia TC-345, provido da balança BL-345, do extrator de sucatas EX-347 e do detetor de metais DM-348, para proteção do sistema de transportadores de correia de longa distância quanto à presença de peças metálicas e ajuste da taxa de retomada. Este transportador descarrega no sistema de transportadores de longa distância, formado pelos transportadores de correia TC-411, TC-412, TC-413, TC-414 e TC415, conforme podemos ver nas Figura 10 e Figura 11.

Fonte: Acervo Vale.

Figura 11: Foto do equipamento TC415 que compõe TCLD, na chegada da usina de Timbopeba tem uma travessia aérea com cerca de 40m de altura.



Fonte: Acervo Vale.

O procedimento normativo número 44 da Vale (PNR 000044 - Classificação de Ativos e Diretrizes para Estratégia de Manutenção) define os critérios de classificação de ativos segundo a sua criticidade ao processo levando em consideração os possíveis impactos gerados para saúde, segurança, produção e comunidade. De acordo com o grau de criticidade os ativos são definidos medidas de controle de manutenção. No Complexo Mariana os Transportadores de longa distância são considerados Ativos Críticos.

Ativos críticos:

- I. Ativo que em caso de falha, do mesmo e/ou de um de seus componentes, resulte em qualquer um dos cenários abaixo:
 - Acidente resultando em mais de uma fatalidade;
 - Impacto ambiental significativo reversível ou irreversível além das imediações da ocorrência. Necessidade de extensas medidas de reparação e controle, podendo demandar projeto. Área protegida por lei afetada. Suspensão de licença ambiental;
 - Prejuízo Financeiro > US\$ 1 bi (danos diretos e indiretos / consequentes);

- Impacto Social e Direitos Humanos acima de 500 pessoas ou afetando a integridade física de mais de 50 pessoas ou resultando em 1 fatalidade. Danos em bens de relevância cultural nacional, ou reversíveis à infraestrutura ou em atividades produtivas da comunidade com soluções de remediação executadas em mais de 5 anos. Referência: Vale – NFN-0001 – Tabela de Severidade.
- II. Ativos considerados como críticos nos Planos de Emergência e/ou Planos de Gestão de Crise serão considerados também como Ativos Críticos, independente dos critérios acima.
 - III. Ativos relacionados a riscos provenientes do não atendimento às condicionantes e requisitos legais são também classificados como Ativos Críticos.

Para as atividades de inspeção nos Ativos Críticos existe um acompanhamento específico chamado Escalation Notice (Figura 12). Essa medida de controle aciona do supervisor ao CEO de acordo com o número de dias que a atividade não foi executada, tamanho risco envolvido. O alerta é enviado através de uma interface com o SAP, que dispara automaticamente os alertas.

Figura 12: Regras Escalation Notice



Fonte: PNR000004 -Vale.

A inspeção no TCLD visa garantir a segurança das pessoas e dos ativos, com foco na inspeção em rolos, correias e estruturas. A Figura 13 e **Erro! Fonte de referência não encontrada.** apresentam imagens do acidente grave de rompimento de uma correia transportadora do

Complexo Mariana, mostrando alto potencial de risco às pessoas que porventura estivessem no local e à estrutura do equipamento.

Segundo Cruz, Emanuel é possível detectar falhas de rolos de transportadores de correia baseado em aprendizado de máquina uma proposta para detecção de rolos defeituosos através de som por ele produzido.

Figura 13: Rompimento de uma das correias do TCLD.



Fonte: Acervo Vale.

Figura 14: Rompimento de uma das correias do TCLD.



Fonte: Acervo Vale.

Os danos causados pelas perfurações na região da emenda geraram infiltrações que comprometeram a resistência estrutural da correia em um valor superior a 10%, sendo está a causa primária da falha, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Essas fragilidades na emenda ocasionaram diversas paradas do transportador por desalinhamento e com repetidas partidas do equipamento, sem que fosse identificado o início da falha (abertura

parcial da emenda). A combinação desses fatores, levaram a propagação da abertura (rasgo) e posterior ruptura da emenda.

As inspeções anteriores à falha não identificaram esses problemas, tendo em vista que o transportador possui mais de 6 mil metros de lona de correia.

Podemos ter falhas nos rolos devido travamento que causa aquecimento e poderá causar um incêndio de grandes proporções. Falha em tambor como quebra devido excesso de carga nos rolamentos e rasgos em correias devido contato material cortante.

O robô precisa ter :mobilidade, equipamentos LIDAR, câmera termográfica (Figura 15).

Figura 15: ROSI realizando inspeção no TC143 – Timbopeba.



Fonte: ITV.

Ganhos com o uso do robô:

- Eliminação de exposição de dois empregados em áreas remotas;
- 6,4 horas de exposição diária (conforme planos de inspeção);
- Rastreabilidade das informações.;
- Padronização das inspeções.

Pontos de atenção com o uso do robô:

- Valor para aquisição;
- Necessidade de treinamento das pessoas que irão realizar a operação;
- Melhoria na mobilidade.

3.2 Inspeção em moinho de bolas

A moagem compõe uma das etapas de cominuição no tratamento de minérios, visando adequar o tamanho das partículas as etapas subsequentes, no caso da Usina de Timbopeba o objetivo é preparar o minério para a etapa de concentração por flotação em que é necessário atingir grau de liberação adequada para o processo.

De acordo com Luz et al. (2004) a cominuição agrupa um conjunto de técnicas que tem por finalidade reduzir, um sólido de determinado tamanho em fragmentos de tamanho menor, que compreende vários estágios, desde a mina.

No tratamento de minérios, a britagem fragmenta os blocos obtidos na lavra. Como a razão de redução desse processo é pequena em geral ele é repetido diversas vezes, até se obter um material adequado à alimentação da moagem. A moagem é uma operação de fragmentação fina, obtendo-se nela um produto adequado à concentração ou a outro processo industrial subsequente.

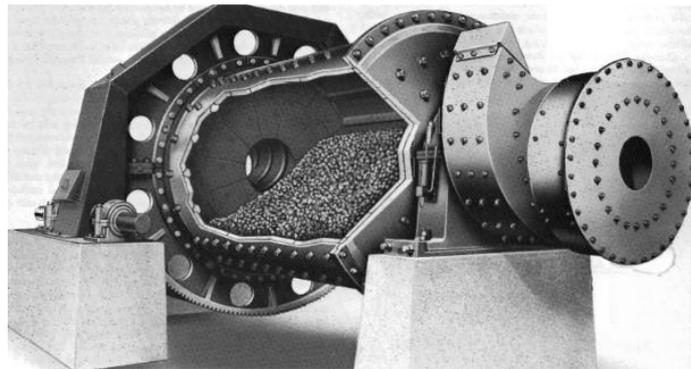
Assim sendo, o grau de redução da moagem situa-se na faixa de 30 a 100 mm (moinhos de bolas) e, excepcionalmente até mais que 200 mm, no caso de minérios extremamente friáveis (SILVA, 2003).

Os moinhos de bolas são um tipo de moinho tubular revolvente que utilizam esferas como corpos moedores. Constituem-se principalmente pela carcaça cilíndrica de aço, comumente inteiriço e usinado, com revestimento interno de placas de aço ou borracha e uma carga interna solta (carga moedora). São fabricados em uma ampla faixa de relações comprimento/diâmetro, que pode ser escolhida em função da granulometria da alimentação e do produto desejado (SILVA, 2003). A quebra é obtida através da movimentação da carga dos corpos moedores juntamente com o minério, que tendem a girar em contato uns com os outros, pressionando as partículas minerais.

As Figura 16 e

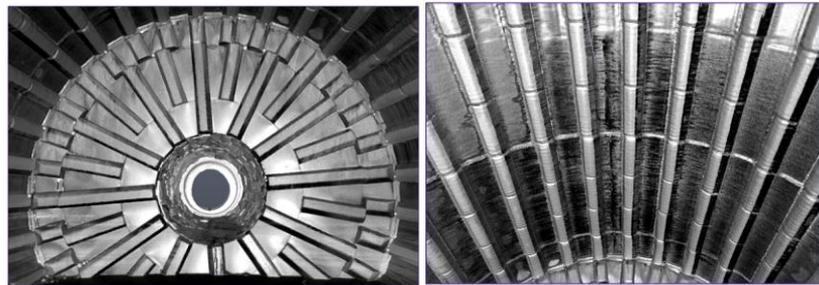
Figura 17 apresentam respectivamente o moinho de bolas com os seus principais componentes e o revestimento interno.

Figura 16: Desenho esquemático do moinho de bolas.



Fonte: PRO Moinho.

Figura 17: Revestimento interno do moinho de bolas – Mina de Timbopeba

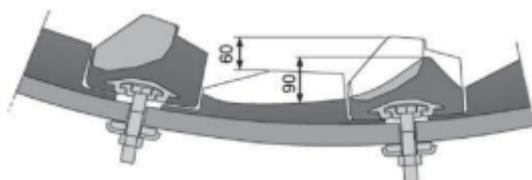


Fonte: Acervo Vale.

O revestimento do moinho tem como finalidade não só proteger o cilindro contra o desgaste, como também reduzir o deslizamento da carga moedora dentro da carcaça e a fornecer trajetórias adequadas (VALADÃO, 2007).

Atualmente é utilizado no moinho da Usina de Timbopeba o revestimento do tipo combinado conforme Figura 18, ao invés de se utilizar um revestimento de aço maciço, pois a borracha absorverá as forças de impacto.

Figura 18: Revestimento combinado – Aço e borracha.

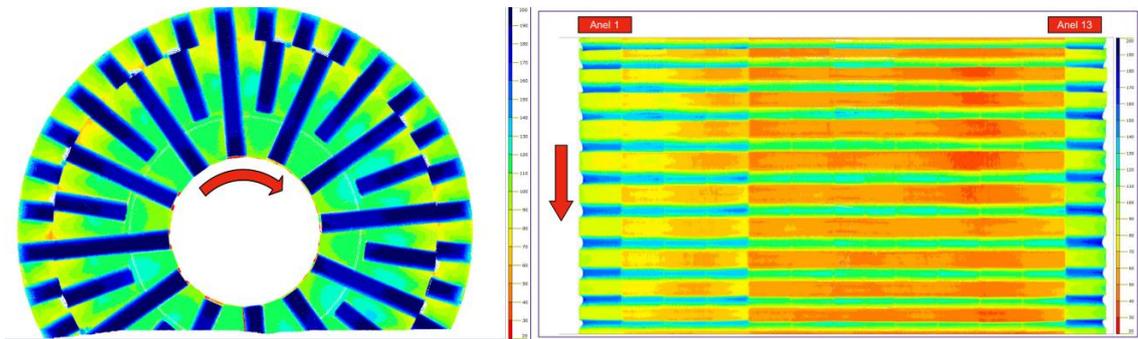


Fonte: PRO Moinho.

A inspeção interna do revestimento do moinho é ponto crítico para boa operação e garantia da vida útil do equipamento. A inspeção envolve longas paradas do equipamento incluindo tempo de limpeza, resfriamento, drenagem e expõe os empregados a condições inseguras durante a execução. O ambiente interno do moinho é considerado espaço confinado e o local é considerado inadequado levando em consideração a irregularidade do piso, alta temperatura e umidade. Além disso existem questões do bloqueio do equipamento e fluxo de material (água e ou reagentes) que podem representar risco aos empregados.

A Figura 19 abaixo apresentam os resultados das inspeções realizadas atualmente com scanner. Os resultados são satisfatórios do ponto de vista técnico gerando dados suficientes para análise e troca, porém, a utilização do robô tornaria a atividade mais rápida e segura tendo em vista a redução dos tempos de preparação para entrada e o maior ganho que é a preservação da vida humana, retirando o empregado do risco.

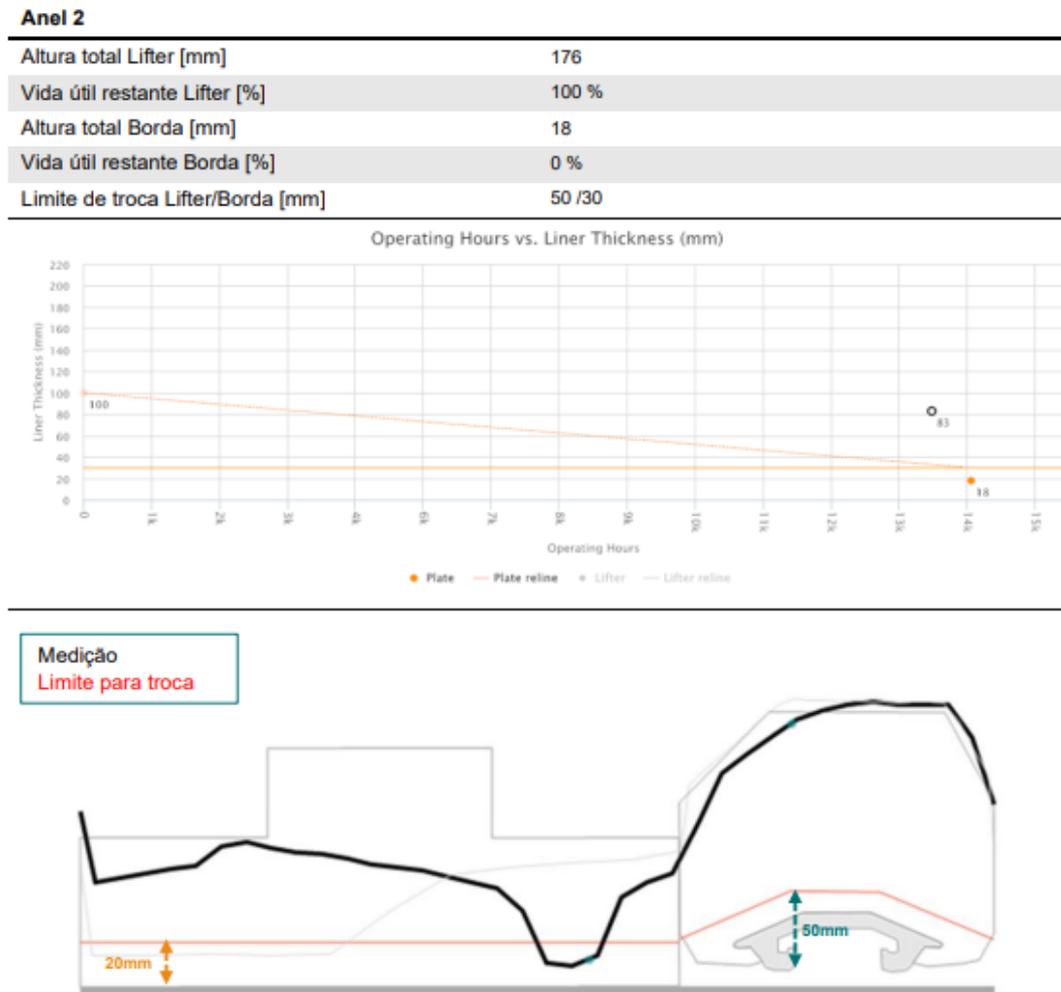
Figura 19: Inspeções com scanner. Cores do revestimento representam a espessura das peças, sendo as cores quentes de menor espessura e as cores frias de maior espessura.



Fonte: Relatório de inspeção Vale.

Para uma inspeção robotizada adequada precisamos que o robô consiga locomover para dentro/fora do equipamento utilizar o LIDAR para escaneamento interno e posterior análise das medições dos desgastes. Com esses dados será possível realizar o acompanhamento dos desgastes das diversas seções conforme Figura 20.

Figura 20: Gráfico de espessura do revestimento x horas operadas, e perfil de desgaste dos revestimentos do moinho.



Fonte: Relatório de inspeção Vale.

Ganhos com o uso do robô:

- Eliminação de exposição de dois empregados (vigia e executante de espaço confinado);
- 12,8 horas de exposição diária (conforme planos de inspeção);
- Rastreabilidade e confiabilidade das informações;
- Padronização das inspeções.

Pontos de atenção com o uso do robô:

- Valor para aquisição;
- Necessidade de treinamento das pessoas que irão realizar a operação.

4 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado dois possíveis cenários para inspeção com robôs: Inspeção em TCLD (Rolos, estrutura e lona) e inspeção em Moinho de bola. Ambos os sistemas produtivos com frequentes acidentes, que necessitam de uma inspeção mais detalhada e com uma maior qualidade técnica.

A utilização de robôs nas inspeções industriais retira as pessoas do risco e devido a precisão dos dados coletados podemos evitar acidentes. Além do aumento da segurança das pessoas e dos ativos, temos também ganhos com a confiabilidade e custo.

Com as inspeções sendo realizadas com os robôs móveis vamos priorizar a segurança das pessoas, aumentar a confiabilidade e melhorar os processos.

Temos outros cenários que podem ser inspecionados por robôs móveis e drones, tais como:

- galeria de espessador;
- shut de silo de carregamento;
- colunas de flotação;
- linhas e redes.

Podemos ter clareza que os ganhos são maiores que os pontos de atenção.

REFERÊNCIAS

- AZPÚRUA, Héctor ; REZENDE, Adriano ; POTJE, Guilherme ; JÚNIOR, Gilmar P. da Cruz et al. Towards Semi-autonomous Robotic Inspection and Mapping in Confined Spaces with the EspeleoRobô. **JOURNAL OF INTELLIGENT & ROBOTIC SYSTEMS JCR**, v. 101, p. 1-27, 2021.
- BERNARDO, M. S. ; BARBOSA, E. S. ; LIZARRALDE, F. ; FARIA, H. D. ; COSTA, R. ; SILVA, R. P. F. ; ANDRADE, R. H. R. ; SILVA, T. H. ; FREITAS, G. M. ; FRANCA, A. ; FONSECA, F. R. ; FILIPE AUGUSTO SANTOS ROCHA ; PESSIN, G. . **Sistema de controle de tração passivo aplicado a um veículo híbrido**. 2020, Brasil.
- BRANDI, I. V. ; GOMES, M. F. M. ; ARAUJO, R. N. ; ROCHA, F. A. S. ; FREITAS, G. M. ; TORRE, M. P. ; MIOLA, W. ; ALCANTARA, P. X. ; SOUZA, T. P. ; BULHOES, R. L. ; LIMA, R. T. ; EVANGELISTA, R. P. ; COSTA, B. L. S. ; LEDEZMA, L. C. M. ; REIS, M. A. . **CAVE INSPECTION AND REMOTE MONITORING DEVICE**. 2017, Estados Unidos. Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: 62/458311, título: "CAVE INSPECTION AND REMOTE MONITORING DEVICE", Instituição de registro: United States Patent and Trademark Office. Depósito: 13/02/2017.
- FREITAS, G. M.; TORRE, M. P. ; GARCIA, G. C. ; ROCHA, F. A. S. ; FRANCA, A. ; FONSECA, F. R. ; LIZARRALDE, F. ; COSTA, R. ; NEVES, A. F. ; MONTEIRO, J. C. E. . **DISPOSITIVO ROBÓTICO E MÉTODO PARA INSPEÇÃO DE COMPONENTES DE UM TRANSPORTADOR DE CORREIA**. 2018, Brasil.
Patente: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR102018010213, título: "DISPOSITIVO ROBÓTICO E MÉTODO PARA INSPEÇÃO DE COMPONENTES DE UM TRANSPORTADOR DE CORREIA" , Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 18/05/2018; Concessão: 09/11/2021.
- JUNIOR, GILMAR P. CRUZ ; REZENDE, ADRIANO M. C. ; MIRANDA, VICTOR R. F. ; FERNANDES, RAFAEL ; AZPURUA, HECTOR ; NETO, ARMANDO A. ; PESSIN, GUSTAVO ; FREITAS, GUSTAVO M. **EKF-LOAM: An Adaptive Fusion of LIDAR SLAM With Wheel Odometry and Inertial Data for Confined Spaces With Few Geometric Features**. **IEEE Transactions on Automation Science and Engineering JCR**, v. 19, p. 1458-1471, 2022.
- LUZ, A.B. ; SAMPAIO, J.A. ; ALMEIDA, S.L.M. **Tratamento de Minérios** - Quarta Edição. 4. ed. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral - CETEM, 2004. v. 1. 867 p.

PATENTE: Privilégio de Inovação. Número do registro: BR1020200130811, título: "SISTEMA DE CONTROLE DE TRACÇÃO PASSIVO APLICADO A UM VEÍCULO HÍBRIDO" , Instituição de registro: INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 26/06/2020

RESENDE FILHO, Levi Welington de ; SANTOS, Andre Almeida ; AZPURUA, HECTOR ; GARCIA, Gabriel Carvalho ; PESSIN, Gustavo . **Deep Learning for Early Damage Detection of Tailing Pipes Joints with a Robotic Device.** In: 2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 2020, Hong Kong. 2020 IEEE 16th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE), 2020. v. 1. p. 1441-1446.

ROCHA, Filipe ; GARCIA, Gabriel ; PEREIRA, Raphael F. S. et al. ROSI: A Robotic System for Harsh Outdoor Industrial Inspection - System Design and Applications. **JOURNAL OF INTELLIGENT & ROBOTIC SYSTEMS JCR**, v. 103, p. 1-22, 2021.

SANTOS, A. D.; OLIVEIRA, T. D.; Avaliação dos métodos práticos e cema de projeto de correia transportadora. **FAZU em Revista**, Uberaba, n.9, p. 55-63, 2012.

SATHLER, M. S. ; CID, A. L. M. ; OLIVEIRA, F. G. ; FREITAS, Gustavo ; PESSIN, GUSTAVO ; AZPURUA, H. I. . **Localização de Fontes de Gás Usando Aprendizagem por Reforço com Robôs Móveis na Indústria da Mineração.** In: XV Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI 2021), 2021, Rio Grande. XV Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI 2021), 2021. v. 1. p. 1034-1040.

SICILIANO, B.; KHATIB, O. **Springer handbook of robotics.** [S.l.]: Springer, 2016.

SILVA, A. C. **Simulação de moagem implementada a partir do modelo de Austin.** Ouro Preto: UFOP,2003,198 p.

VALADÃO, G.E.; ARAUJO, A. C. **Introdução ao tratamento de minérios.** Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007, 234p.