



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA
MESTRADO ACADÊMICO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

NADSON RENAN TOMÉ DE SOUSA

**DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA WEB PARA GERENCIAMENTO DE
DADOS DO PÁTIO DE ESTOCAGEM DE UMA USINA TERMELÉTRICA À
CARVÃO**

FORTALEZA

2020

NADSON RENAN TOMÉ DE SOUSA

DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA WEB PARA GERENCIAMENTO DE DADOS
DO PÁTIO DE ESTOCAGEM DE UMA USINA TERMELÉTRICA À CARVÃO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia Elétrica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Engenharia Elétrica

Orientador: Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira

Coorientador: Prof. Dr. Bismark Claire Torrico

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S697d Sousa, Nadson Renan Tomé de.
DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA WEB PARA GERENCIAMENTO DE DADOS DO
PÁTIO DE ESTOCAGEM DE UMA USINA TERMELÉTRICA À CARVÃO / Nadson Renan Tomé de
Sousa. – 2020.
90 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2020.
Orientação: Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira.
Coorientação: Prof. Dr. Bismark Claire Torrico.
1. Plataforma Web. 2. Gestão de Inventário. 3. Políticas de Operação. 4. Revisão Contínua. I. Título.
CDD 621.3
-

NADSON RENAN TOMÉ DE SOUSA

DESENVOLVIMENTO DE PLATAFORMA WEB PARA GERENCIAMENTO DE DADOS
DO PÁTIO DE ESTOCAGEM DE UMA USINA TERMELÉTRICA À CARVÃO

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Engenharia Elétrica do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de mestre em Engenharia Elétrica. Área de Concentração: Engenharia Elétrica

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fabrício Gonzalez Nogueira (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Bismark Claire Torrico (Coorientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Paulo Peixoto Praça
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Guilherme de Alencar Barreto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Sou grato a Deus por sua infinita graça e misericórdia com minha vida, proporcionando experiências incríveis de crescimento profissional e pessoal ao longo da minha jornada acadêmica dentro do Programa de Pós-graduação da Engenharia Elétrica.

Ao corpo técnico da TM Pecém e do setor de P&D da EDP por terem confiado no meu trabalho, com a experiência que tive como estagiário na TM Pecém, e nos trabalhos desenvolvidos pelo laboratório GPAR, possibilitando o desenvolvimento desta dissertação no âmbito do projeto de P&D Energia Pecém/ANEEL número PD-07267-0016/2018

Aos meus pais, que além de todo carinho, sempre deram suporte para a minha educação e formação, e foram grandes incentivadores da minha busca pelo conhecimento. Muito obrigado por me proporcionarem a melhor estrutura para eu conseguir atingir os meus objetivos de vida.

À minha esposa Caroline, que tem sido o meu maior incentivo da busca de melhoria contínua do meu eu. O seu amor tem sido um guia para mim, o seu cuidado tem me confortado nos momentos que mais precisei durante minha vida acadêmica. Muito obrigado pelas revisões de texto e coerência da minha dissertação, mesmo não entendendo nada do meu tema de estudo.

Aos professores Fabrício e Bismark que sempre me acolheram da melhor forma, em especial o Professor Fabrício. Muito obrigado por me escutarem e por me aconselharem em minhas pesquisas e em momentos de decisões pessoais e profissionais. Agradeço também sempre depositarem confiança em minhas ideias e em meu trabalho.

Ao meu amigo e irmão Marcus Davi a quem eu tenho uma grande admiração. Muito obrigado pelo incentivo, pelo trabalho cooperativo e pela paciência nas explicações quando precisei. Foi uma das pessoas que mais me ajudou com desenvolvimento desta dissertação. Você foi e tem sido uma grande inspiração de profissional e uma das melhores pessoas a quem já tive contato.

Ao meu amigo Adriano Rodrigues que tive a oportunidade de conhecer melhor através da pós-graduação e do projeto de P&D. Muito obrigado pelo trabalho em conjunto, pelas horas de desenvolvimento no nosso time de software e de elaboração das soluções e ideias para implementação. Muito obrigado nos momentos em que precisei de uma explicação, em que liguei pedindo ajuda pra entender como elaborar alguns textos de artigo e até da minha própria dissertação.

Ao meu amigo Italo Rossi quem eu tenho uma grande admiração como pessoa e

engenheiro da industria. Agradeço demais pelo trabalho cooperativo que desenvolvemos na nossa pesquisa e no desenvolvimento da API da ISAA. Pela atenção em momentos que eu precisei de uma explicação dos teus códigos no desenvolvimento da ISAA.

“Meus irmãos, tenham por motivo de grande alegria o fato de passarem por várias provações, sabendo que a provação da fé que vocês têm produz perseverança.”

(Tiago 1:2,3)

RESUMO

Neste trabalho é apresentada a aplicação web desenvolvida como plataforma de gestão dos dados do pátio de carvão e de um sistema de varredura a laser além da Metodologia de Acompanhamento Contínuo de Estoque (MACE) elaborada para proporcionar Revisão Contínua do estoque contábil de carvão. O controle de inventário é um dos processos mais importantes na logística do carvão mineral, sendo o controle contínuo de inventário um grande desafio do setor de mineração. A magnitude do problema se deve ao fato das instrumentações comumente utilizadas produzirem erros cumulativos na estimação de massa do minério. Ademais, a alimentação contínua de dados em planilhas pesadas, que são acessíveis apenas nos computadores, dificultam o acesso à informação para a tomada de decisão dos gestores. Dessa maneira, desenvolveu-se um sistema de gerenciamento de dados do pátio de carvão que é associado a um equipamento de varredura com instrumentação *Light Detection and Ranging* (LiDAR) para volumetria das pilhas do pátio de carvão. O sistema de gerenciamento do pátio é descrito desde o equipamento de varredura até a *Interface do Sistema Aéreo Automático* (ISAA) integrada com a MACE. Sobre a plataforma web, relata-se os motivos da escolha da linguagem, da arquitetura de software adotada e do resultado das telas construídas no software. Depois, a MACE é detalhada, mostrando que é possível realizar um Revisão Contínua de estoque de carvão tanto com informação de massa proveniente de sistemas de pesagens dinâmicas quanto do cruzamento da volumetria com densimetria de ensaios em campo. Com o intuito de se aprofundar sobre a metodologia MACE, conduziu-se uma simulação de 9 dias para ilustrar os resultados retornados pelo programa, o que possibilitou a discussão sobre o conteúdo obtidos durante essa simulação.

Palavras-chave: Plataforma Web. Gestão de Inventário. Políticas de Operação. Revisão Contínua.

ABSTRACT

This work presents a web application developed as a data management platform for the coal yard and laser scanning system. Additionally, the MACE is proposed to make possible Continuous Review of book inventory balance of coal. Inventory control is one of the most important processes in coal logistics, and continuous inventory control is a major challenge for the mining sector. The magnitude of the problem is due to the fact that the commonly used instruments produce cumulative errors in the estimation of ore mass. Furthermore, the continuous feeding of data in heavy spreadsheets, which are accessible only on computers, make it difficult for managers to access information for decision making. In this way, a data management system for the coal yard was developed, which is associated with a scanning equipment with LiDAR instrumentation for volumetry of the coal piles from stockyard. The yard management system is described from the scanning equipment to ISAA integrated with MACE. About the web platform, the reasons for choosing the language, the software architecture adopted and the result of the screens built in the software are reported. After, MACE is detailed presenting how continuous review of coal stockyard is possible using both mass information not only from volumetry related to densimetry collected in field surveys but also from dynamic weighing systems. In order to go deeper into the MACE methodology, a 9-day simulation was conducted to demonstrate the program's behavior, which enabled the discussion of the results obtained during this simulation. This work has received funding from Energia Pecém / ANEEL under the grant number PD-07267-0016/2018.

Keywords: Web platform. Stockyard Management. Operation Policies. Continuous Review.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Vista Aérea do Pátio de Carvão da UTE Pecém	23
Figura 2 – Imagens do Maquinário do Pátio de Carvão	25
Figura 3 – Logística do Carvão e Variáveis de Medição da Matéria-prima de uma Usina Termelétrica a Carvão Mineral.	25
Figura 4 – Desenho do Pátio de Estocagem com Entradas e Saídas	26
Figura 5 – Princípio de medição de massa através da Pesagem Dinâmica	27
Figura 6 – Ilustração da Pesagem após o alimentador	28
Figura 7 – Ilustração do Levantamento Aerofotogramétrico.	29
Figura 8 – Ilustração do Levantamento LiDAR	30
Figura 9 – Ilustração da arquitetura cliente-servidor de três camadas do sistema.	31
Figura 10 – Ilustração da arquitetura do sistema de gerenciamento de dados do pátio.	32
Figura 11 – Ilustração da comunicação da Estação Meteorológica e o CLP.	35
Figura 12 – Equipamento Aéreo de Varredura	37
Figura 13 – Interface para Operação em Campo	38
Figura 14 – Nuvem de Pontos Segmentada de uma Pilha de Carvão	40
Figura 15 – Amostra de Metadados gerado em missão	41
Figura 16 – Dashboard do inventário de carvão mineral	45
Figura 17 – Gráfico de Estoque Total por Empresa	46
Figura 18 – Painel Atualizado com a Massa de Carvão Disponível no Pátio	46
Figura 19 – Página com opções de inserção de registros	47
Figura 20 – Formulário para Estimação de Entrada de Massa de Carvão do Pátio	48
Figura 21 – Formulário para Estimação de Saída de Massa de Carvão do Pátio	49
Figura 22 – Formulário para atualização da informação de volume do pátio	50
Figura 23 – Formulário para atualização da densidade das pilhas do Pátio	51
Figura 24 – Página com informações sobre o Drone e Missões realizadas	52
Figura 25 – Tabela com Histórico de Missões com filtro de data	53
Figura 26 – Página da Missão com o Resumo e Indicação das Pilhas Disponíveis	54
Figura 27 – Visualizador 3D de Nuvem de Pontos Desenvolvido com Three.js	54
Figura 28 – Página do Histórico de Inventário	55
Figura 29 – Tabela de Registros Recentes	56
Figura 30 – Registro Recente disposto em <i>Layout</i> do Pátio de Carvão	57

Figura 31 – Tabela com Histórico de Registros com filtro de data	58
Figura 32 – Registro do Histórico disposto em <i>Layout</i> do Pátio de Carvão	58
Figura 33 – Tabela com Histórico de Fechamento com filtro de Data	59
Figura 34 – Registro de Fechamento disposto em <i>Layout</i> do Pátio de Carvão	59
Figura 35 – Gráfico Genérico de Atualização de Estado de Massa da Pilha 3A	66
Figura 36 – Plano de Inserção de Referências	70
Figura 37 – Tabela com relação entre Estados e Registros Após a Inserção no Sistema	71
Figura 38 – Cenários de Operação de Descarregamento na Pilha 3A	72
Figura 39 – Selecionando a Data Inicial de Simulação no Sistema Operacional	76
Figura 40 – Inventário no Primeiro Dia, 1 de outubro de 2020	77
Figura 41 – Planejamento Geral de Inserção de Todos Registros	77
Figura 42 – <i>Dashboard</i> do Inventário no Último Dia, 9 de Outubro de 2020.	79
Figura 43 – Registros e Estado Intermediário de Massa do nono dia.	79
Figura 44 – Todos os registros consolidados até o nono dia.	80
Figura 45 – Todos os fechamentos consolidados até o nono dia.	80
Figura 46 – Navegação <i>Mobile</i> na Página do Histórico de Inventário.	83
Figura 47 – Navegação <i>Mobile</i> pela Dashboard do Inventário.	84
Figura 48 – Navegação <i>Mobile</i> pelas páginas de Missão e Nuvem de Pontos.	85
Figura 49 – Navegação pelas páginas de Inserção de Registros.	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estados Diferenciais	62
Tabela 2 – Estado Intermediário de Diferença ($E\Delta_k$)	62
Tabela 3 – Tipos de Estados e suas Categorias	63
Tabela 4 – Atualização do Estado Intermediário de Massa	64
Tabela 5 – Atualização de Estado Referencia de Densidade (em ton/m^3)	67
Tabela 6 – Atualização de Estado Referencial de Volume (em m^3)	68
Tabela 7 – Estados de Referência Após Inserção de Registros Referenciais	69
Tabela 8 – Acompanhamento de Estados nos Cenários	73
Tabela 9 – Inicialização de Estado Inicial do Sistema, 23 de setembro de 2020	76
Tabela 10 – Plano de Inserção de Registros Diferenciais na ISAA	78
Tabela 11 – Plano de Inserção de Registros de Volume na ISAA	78
Tabela 12 – Registro de Volume inserido no dia 5 de outubro	81
Tabela 13 – Estado de Diferença ao longo dos 9 dias	81
Tabela 14 – Estado Intermediário de Volume (E_{v1_k}) ao longo dos 9 dias	82
Tabela 15 – Estado Intermediário de Massa (E_{m1_k}) ao longo dos 9 dias	82
Tabela 16 – Soma Total da Massa de Carvão das Empresas ao longo dos 9 dias	83

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CLP	Controlador Lógico Programável
CSU	<i>Continuous Ship Unloader</i>
EDP	Energias de Portugal
GSU	<i>Grab-type Ship Unloader</i>
ISAA	<i>Interface do Sistema Aéreo Automático</i>
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MACE	Metodologia de Acompanhamento Contínuo de Estoque
SPA	<i>Single-Page Application</i>
TC	Transportador de Correia
TCLD	Transportador de Correias de Longa Distância
TT	Torre de Transferência
UG	Unidade de Geração
VANT	Veículo Aéreo Não-tripulado

LISTA DE SÍMBOLOS

E_{d0}	Estado de Densidade Consolidado
E_{d1}	Estado de Densidade a ser Consolidado
E_{m0}	Estado de Massa Consolidado
E_{m1}	Estado de Massa a ser Consolidado
E_{v0}	Estado de Volume Consolidado
E_{v1}	Estado de Volume a ser Consolidado

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	Motivação	18
1.2	Trabalhos Relacionados	19
1.3	Objetivos	21
2	CONTROLE DE CARVÃO MINERAL EM PÁTIOS DE ESTOCAGEM	23
2.1	Pátio de Minério	23
2.1.1	<i>Entradas e Saídas</i>	24
2.2	Técnicas de Medição de Variáveis do Processo	26
2.2.1	<i>Pesagem</i>	26
2.2.2	<i>Volumetria</i>	28
2.2.2.1	<i>Fotogrametria</i>	28
2.2.2.2	<i>Laser</i>	29
2.2.3	<i>Densimetria</i>	30
3	SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS DO PÁTIO	31
3.1	Arquitetura do Sistema	31
3.2	Instrumentação do Sistema	34
3.2.1	<i>Estação Meteorológica</i>	34
3.2.2	<i>Equipamento Aéreo de Varredura Laser</i>	34
3.2.2.1	<i>Drone Wind 4</i>	35
3.2.2.2	<i>Sistema D-RTK: Ground e Air Station</i>	35
3.2.2.3	<i>LiDAR</i>	36
3.2.2.4	<i>Manifold</i>	36
3.2.2.5	<i>Parâmetros de voo</i>	37
3.2.2.6	<i>Reconstrução Tridimensional</i>	39
3.2.2.7	<i>Dados Gerados pelo Equipamento</i>	39
3.2.2.7.1	<i>Nuvem de Pontos</i>	39
3.2.2.7.2	<i>Metadados do Drone</i>	40
4	ISAA: INTERFACE DO SISTEMA AÉREO AUTOMÁTICO	42
4.1	Desenvolvimento de Plataforma Web	42
4.1.1	<i>A escolha da linguagem de programação JavaScript</i>	42

4.1.2	<i>Bibliotecas e Frameworks</i>	43
4.1.2.1	<i>React.js</i>	44
4.1.2.2	<i>Node.js</i>	44
4.1.2.3	<i>Three.js</i>	44
4.2	Telas da Plataforma ISAA	45
4.2.1	<i>Dashboard de Inventário</i>	45
4.2.1.1	<i>Estoque Total e Disponibilidade</i>	45
4.2.1.2	<i>Painel Estoque por Pilha com Total por Empresa</i>	46
4.2.2	<i>Inserção de Registros</i>	47
4.2.2.1	<i>Descarregamento do Porto</i>	47
4.2.2.2	<i>Consumo da Usina</i>	48
4.2.2.3	<i>Varredura Aérea</i>	49
4.2.2.4	<i>Ensaio de Densidade</i>	50
4.2.3	<i>Drone e Missões</i>	51
4.2.4	<i>Histórico de Inventário</i>	54
4.2.4.1	<i>Registros Recentes</i>	56
4.2.4.2	<i>Histórico de Registros</i>	57
4.2.4.3	<i>Histórico de Fechamento</i>	58
5	MACE: METOLOGIA DE ACOMPANHAMENTO CONTÍNUO DE ESTOQUE	60
5.1	Considerações Iniciais	60
5.1.1	<i>Registros Diferenciais ($R\Delta e_k$ e $R\Delta s_k$)</i>	60
5.1.2	<i>Registros Referenciais (RRv_k e RRd_k)</i>	61
5.1.3	<i>Estado de Diferença</i>	61
5.1.4	<i>Estados de Volume e Densidade</i>	63
5.1.5	<i>Estados de Massa</i>	64
5.2	Regras da MACE	65
5.2.1	<i>Fechamento Diário</i>	65
5.2.2	<i>Estados Prioritários</i>	65
5.2.3	<i>Atualização por Registros Referenciais</i>	67
5.2.4	<i>Atualização por Registros Diferenciais</i>	71
6	SIMULAÇÃO E DISCUSSÕES	75

6.1	Simulação de 9 dias de Uso	75
6.1.1	<i>Planejamento de Inserções</i>	75
6.1.2	<i>Resultados da Simulação e Discussões</i>	79
6.2	Responsividade	83
7	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	86
7.1	Trabalhos Futuros	87
	REFERÊNCIAS	88

1 INTRODUÇÃO

A presente dissertação compõe uma série de trabalhos realizados no âmbito do projeto de P&D Energia Pecém / ANEEL número PD-07267-0016/2018 voltados para desenvolver um sistema automático de volumetria das pilhas de carvão do pátio de armazenagem da usina.

Visando o objetivo geral do projeto de P&D, este trabalho foi conduzido com o intuito de desenvolver uma ferramenta que auxiliasse o processo de acompanhamento de estoque com base na medição do estoque físico de carvão. Como a quantificação em tempo real de estoque para materiais a granel é bastante desafiadora, percebeu-se que haveria um espaço para a proposição de uma plataforma que pudesse auxiliar nesta tarefa.

Além disso, ao longo do desenvolvimento do projeto, Devido aos diversos avanços da computação, hoje é possível se ter o que se chama de indústria 4.0. E com esse conceito, veio também a internet das coisas industrial (IIoT).

Alinhado a esses avanços, O avanço das arquiteturas de softwares e também dos dispositivos é possível se estabelecer um sistema como esses dentro do

Ao longo do projeto de pesquisa, constatou-se que uma solução que facilitasse o gerenciamento de estoques de carvão mineral no pátio da usina termelétrica do Pecém. Para isso, idealizou-se um sistema inteligente de gestão de estoque da matéria-prima com base nos valores de massa, volume e densidade do minério com o intuito de se estimar a quantidade de material que constantemente entra e é estocado no pátio ou é consumido pela usina.

1.1 Motivação

A principal motivação para o desenvolvimento do sistema proposto é financeira, tendo em vista as divergências entre a massa de carvão adquirida por meio de importação e a estimativa da massa estocada no pátio das usinas termelétricas. Essa incompatibilidade pode gerar problemas com tributação sobre a compra do produto, além de induzir erros no planejamento de compras futuras do minério.

Para isso, desenvolveu-se um equipamento para estimação de volume de minérios, que aliado as estimações de densidade, poderão fornecer dados de massa muito mais precisos que as balanças dinâmicas utilizadas no processo.

Ao longo do desenvolvimento do equipamento, deparou-se com a necessidade de uma plataforma que pudesse organizar toda informação de campo, devido a complexidade

das informações gerenciadas no pátio de carvão, que, nos dias de hoje, toda informações são gerenciadas em planilhas de EXCEL que são muito lentas, difíceis de navegar e acessar. Esse problema causa redução na produtividade do processo gerencial e na análise dos dados para acompanhamento das informações do pátio para tomada de decisões assertivas.

Ao se aprofundar na operação logística, percebeu-se que a contabilidade de estoque em cada pilha de estocagem não é um processo trivial, mas que demanda um gerenciamento e catalogação dos dados para que o cálculo possa ser feito conforme a lógica de condução da operação, que pode acontecer de modo bastante diverso. Por isso, além da aplicação web, levantou-se a necessidade de criação de uma metodologia para orientação de utilização da plataforma, que deverá ser conduzida conforme as necessidades logísticas do pátio de estocagem.

1.2 Trabalhos Relacionados

Ao longo de várias décadas, diversas técnicas de otimização e controle de estoque tem sido estudadas e propostas para reduzir custos de operação de estocagem e encontrar níveis ótimos de disponibilidade de produto. É um problema geral de uma das áreas de estudo da administração que afeta o comércio em diversos setores produtivos da economia.

Quando se trata de sistemas de controle de estoque, alguns dos pesquisadores pioneiros no assunto, como Hadley e Whitin (1963), buscaram tanto definir as naturezas do problema quanto propor metodologias para mitigação dos problemas envolvidos na operação de estoques, utilizando modelos matemáticos probabilísticos e estocásticos.

Na perspectiva da tomada de decisão para otimização do controle de estoque de carvão, Twisdale e Chu (1979) propuseram metodologia embasada em modelos matemáticos para ajudar na decisão de quanto carvão comprar baseado na predição de incertezas provenientes dos custos do processo, preço do carvão no mercado, queima do carvão e de sua receita gerada.

Além das teorias da administração e seus métodos matemáticos, a tecnologia tem evoluído de forma muito rápida de modo a transformar a forma como pensamos a administração. Nesse sentido, ferramentas cibernéticas são criadas ou aprimoradas para catalisar o aperfeiçoamento da gestão empresarial. Dessa maneira, quando gestores colocam metas a serem cumpridas, é possível se pautar em sistemas cibernéticos para gerar dados que possam ser utilizados para medir o desempenho e monitorar os resultados alcançados. (ROBB, 1984)

E a precisão nas medições dos indicadores impactam diretamente no monitoramento para tomada de decisão das lideranças empresariais. Por isso, para os modelos de predição

e tomada de decisão entregarem bons resultados, as suas variáveis de entrada não podem ser incoerentes e imprecisas. (NUNES *et al.*, 2014; WALLER *et al.*, 2006)

Visionando essa realidade dentro do contexto atual de desenvolvimento dos sistemas cibernéticos no auxílio da gestão de estoque de carvão mineral, podemos nos atentar para três pontos principais: o primeiro é sobre a instrumentação, o segundo é sobre o sistema computacional e o terceiro são sobre metodologias e políticas de operação.

No primeiro ponto, atenta-se a instrumentação utilizada para coleta de dados de carvão mineral para a gestão do estoque. As variáveis a serem monitoradas são tanto a massa, o volume e a densidade do minério. Para medição de massa, são utilizados balanças dinâmicas e estáticas em vários modais de transporte como o rodoviário, ferroviário e correias transportadoras (LIAO; XI, 2010; ALLOTTA *et al.*, 2015; NIEDŹWIECKI; PIETRZAK, 2016). As balanças são instrumentos que precisa ser constantemente calibrado para que seja possível manter sua precisão (SCIENTIFIC, 2016) e são passíveis a diversas interferências ambientais e inerentes ao processo (HALIMIC; BALACHANDRAN, 1995).

Além da massa, mede-se o volume. Técnicas como a fotogrametria e varredura laser usam sistema computacional avançado, como o uso de Veículo Aéreo Não-tripulado (VANT), para realização da volumetria das pilhas de minério para monitoramento e gestão do estoque. Essas técnicas aplicadas em pátios de minérios, são utilizados como referência de volume para o cálculo do estoque físico (OSBORNE *et al.*, 2013). A técnica de volumetria mais popular e disseminada é a fotogrametria devido ao baixo custo da tecnologia e rapidez na obtenção de resultados em comparação com métodos tradicionais de topografia. (ARANGO; MORALES, 2015; RAEVA *et al.*, 2016)

Entretanto, a fotogrametria ainda não produz resultados satisfatórios em determinadas condições, pois seus algoritmos são sensíveis às condições climáticas e iluminação ambiente (TOMMASELLI; BERVEGLIERI, 2018) e é necessário a instalação de pontos de referência para o cruzamento da informação no processamento. Por outro lado, temos as varreduras laser que utilizam sensoriamento LiDAR que mitiga os problemas de condições climáticas e iluminação (Van Genderen, 2010), aprimorando os resultados da volumetria (HE *et al.*, 2019) sem precisar de pontos de referência (HAUSER *et al.*, 2016) e em menos tempo de processamento do que a fotogrametria (TUCCI *et al.*, 2019). Além de ser acoplado em VANTs, o LiDAR também pode ser visto em plataformas terrestres como também instalados diretamente na estrutura das correias transportadoras. (WALLACE *et al.*, 2012; FOJTÍK, 2014). Conforme Tucci *et al.* (2019), para

volumetria de pilhas de minério, o ideal é utilizar a varredura aérea com VANTs.

No segundo ponto, destaca-se o sistema computacional projetado que funciona no plano de fundo da instrumentação para levar a informação até os gestores. Em vários sistemas industriais, tem sido utilizado a arquitetura de cliente-servidor (CHEN *et al.*, 2003; LEE *et al.*, 2008). Agregou-se a essa arquitetura, na camada de cliente, um aplicativo de página única, do inglês *Single Page App* (SPA). Nessa estrutura, é utilizado APIs para coletar os dados de máquinas e sistemas automáticos para armazenamento no banco de dados de servidor, fornecendo os dados para as SPAs através de RESTful API.

No terceiro ponto, destaca-se as políticas e metodologias que orientam a operação do processo de revisão de estoques. Sobre essa temática, Silver *et al.* (1998) classifica os tipos de metodologia de revisão de estoque como contínua e periódica, descrevendo suas características, vantagens e desvantagens. Além disso, uma excelente revisão da literatura desta temática é feita por Rosa *et al.* (2010), apresentando simulações das metodologias de revisão contínua e periódica de estoque de um único item. Tendo como fundamento essa base teórica, dois estudos voltados para análise do tipo de sistema de revisão de estoque foram encontrados com aplicações direcionada para estoque de carvão mineral.

O primeiro foi apresentado por Aditya *et al.* (2019) com sua aplicação em termelétrica à carvão, onde simulou casos de revisões periódicas (P) e contínuas (Q) de estoque de carvão concluindo que a revisão contínua poderia reduzir o custo de armazenamento em até 14% em relação a revisão periódica do estoque.

O segundo estudo foi apresentado por Effendi e Rusdiansyah (2020) se baseado em estoque de carvão de uma planta de produção de cimento, onde a revisão contínua produziu um resultado de economia de 4,36%.

Por fim, apresenta-se outro estudo com aplicação genérica foi feito por Rosa *et al.* (2010) que indicou evidências para as vantagens da revisão contínua do estoque em suas simulações, indicando a revisão contínua seria a mais vantajosa em todas as situações, resultando no geral 12% menos estoque e 7% menos custo no total, sendo que a revisão periódica necessitou de aproximadamente 58,7% a mais de estoque de segurança.

1.3 Objetivos

Esta dissertação é resultado de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) fomentado pela Energia Pecém, termelétrica pertencente ao grupo Energias de Portugal (EDP). O

principal intuito do projeto foi do desenvolvimento de um equipamento aéreo para levantamento volumétrico com tecnologia LiDAR. Ao longo do desenvolvimento, constatou-se a necessidade de se desenvolver, de modo complementar, um sistema de gerenciamento inteligente dos dados de massa de carvão das pilhas do pátio através de uma plataforma web.

Dessarte, este trabalho visa desenvolver um sistema de acompanhamento dos dados do pátio que possua alta confiabilidade e precisão na informação, além de auxiliar na automatização do processo de estimação e catalogação das grandezas provenientes das pilhas do pátio para revisão contínua do estoque. Os objetivos principais deste trabalho são destacados:

- Desenvolver uma plataforma web para organização dos dados coletados no pátio e outras fontes;
- Criação de metodologia de interação de registros provenientes da plataforma web que possibilite que várias fontes de quantificação de carvão possam ser utilizadas sem comprometer a precisão do estoque a curto prazo;
- Através da metodologia, descrever orientações de utilização do sistema para os usuários e como os estados da aplicação se comportam;
- Desenvolver na plataforma web uma interface de visualização de ensaios realizados, destacando os volumes estimados e as nuvens de pontos para conferência;
- Oferecer, de modo geral, um sistema desburocratizado e transparente para o acesso às informações de inventário de modo que gestores analisem em tempo real e tomem decisões ainda mais assertivas a respeito da operação do campo;
- Ressaltar a importância da utilização de estratégias de aplicação de instrumentações através de metodologias para obtenção de resultados na gestão de estoque.

2 CONTROLE DE CARVÃO MINERAL EM PÁTIOS DE ESTOCAGEM

O processo de controle de estoque de uma usina termelétrica é bastante complexo e existem diversas variáveis a serem monitoradas. Neste capítulo, é apresentado o que é um pátio de carvão e a logística de entrada e saída da matéria-prima, como o carvão é transportado até o pátio e as técnicas utilizadas na medição das principais variáveis de inventário do processo.

2.1 Pátio de Minério

O pátio de minério é uma área industrial de armazenagem que pode ser localizada em portos ou áreas de produção industrial tal como usinas térmicas a carvão, siderúrgicas, mineradoras e outras empresas que utilizam uma grande quantidade de minério como matéria-prima em seus processos (OSBORNE *et al.*, 2013). Como poder ser visto pelas imagens da Figura 1, é uma região de larga dimensão à céu aberto onde o minério é estocado e retirado para consumo no processo.

Figura 1 – Vista Aérea do Pátio de Carvão da UTE Pecém



Fonte: Google Maps

Há de se observar também quanto a circulação de máquinas e pessoas nessa área industrial, como descreve SOUSA (2018) em seu trabalho:

Nessa região, há pessoas que trabalham na manutenção e operação do pátio,

transitando à pé. Além do fluxo de pedestres, também há fluxo de veículos automotores, tanto de carros e caminhões quanto de retroescavadeiras. Normalmente, o fluxo de carros é justificado pelo transporte de colaboradores da empresa para realizarem atividades nos arredores do pátio e para realizarem vistoria de atividades, de segurança e do estoque. Já o fluxo das retroescavadeiras são justificadas pelas atividade de operação, exercidas pelos técnicos responsáveis pela separação das pilhas e compactação da matéria-prima para estocagem.

2.1.1 Entradas e Saídas

Para a operação de um pátio de carvão, é essencial se observar para aspectos gerenciais do estoque. Dessa maneira, a recepção e expedição de materiais estocados nos pátios são essenciais para a previsibilidade de estoque dentro do processo industriais (ARBACHE *et al.*, 2011). No caso do pátio de carvão, as entradas e saídas possuem seus meios estabelecidos, e em cada processo há uma forma de se medir, mitigar problemas e controlar suas variáveis de processo.

Como relatado em SOUSA (2018), as usinas termelétricas a carvão mineral geograficamente distantes de mineradoras de suas matéria-prima, preferem comprar carvão de melhor qualidade e o transporte marítimo é o meio de melhor viabilidade econômica para transporte desse tipo de material (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2008).

Ao exemplo do Porto do Pecém, o descarregamento do carvão nos portos, acontecem através de máquinas *Grab-type Ship Unloader* (GSU) para o transporte rodoviário ou através de máquina *Continuous Ship Unloader* (CSU) para o Transportador de Correias de Longa Distância (TCLD).

Dentro deste contexto, há de se destacar o maquinário que é um dos principais responsáveis pela operação logística do pátio de carvão, a *Stacker&Reclaimer*. Esta máquina, que pode ser vista na Figura 2, se movimenta sobre trilhos construídos sobre o pátio e realiza o processo de "retoma", "empilha" e "retoma/empilha" de carvão.

O processo de "retoma" acontece quando alguma unidade de geração solicita carvão à gestão do pátio para o consumo do minério ou armazenamento nos silos da usina, então a *Stacker&Reclaimer*, com sua roda de caçamba, retira o carvão das pilhas de estoque para colocar na correia transportadora, que leva o material aos silos da usina. O processo de "empilha" é realizado quando o carvão é transportado pelo TCLD e é totalmente depositado nas pilhas de minério do pátio através das *Stackers&Reclaimers*, como ilustrado pela Figura 2. Já o processo de "retoma/empilha" acontece quando uma *Stacker&Reclaimer* possibilita que uma parte do

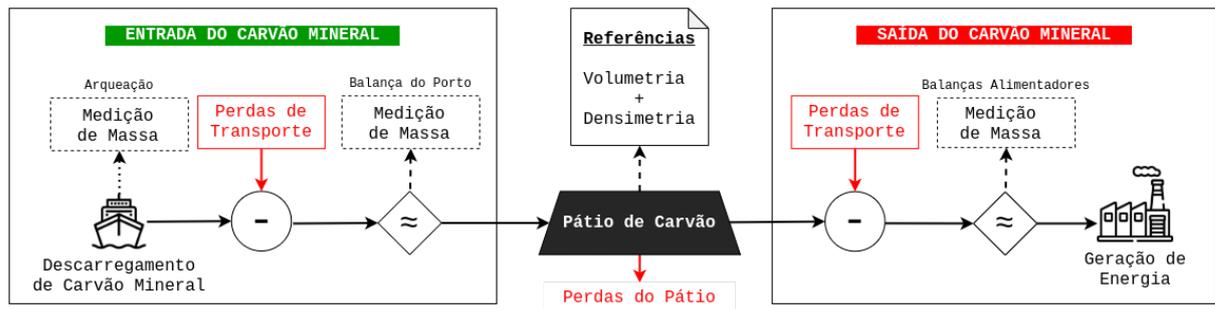
Figura 2 – Imagens do Maquinário do Pátio de Carvão



Fonte: (DIÁRIO DO NORDESTE, 2012) e Autor

carvão proveniente do TCLD realize a passagem direta do material para ser depositada nos silos da usina e outra parte no pátio de estocagem.

Figura 3 – Logística do Carvão e Variáveis de Medição da Matéria-prima de uma Usina Termelétrica a Carvão Mineral.



Fonte: Autor

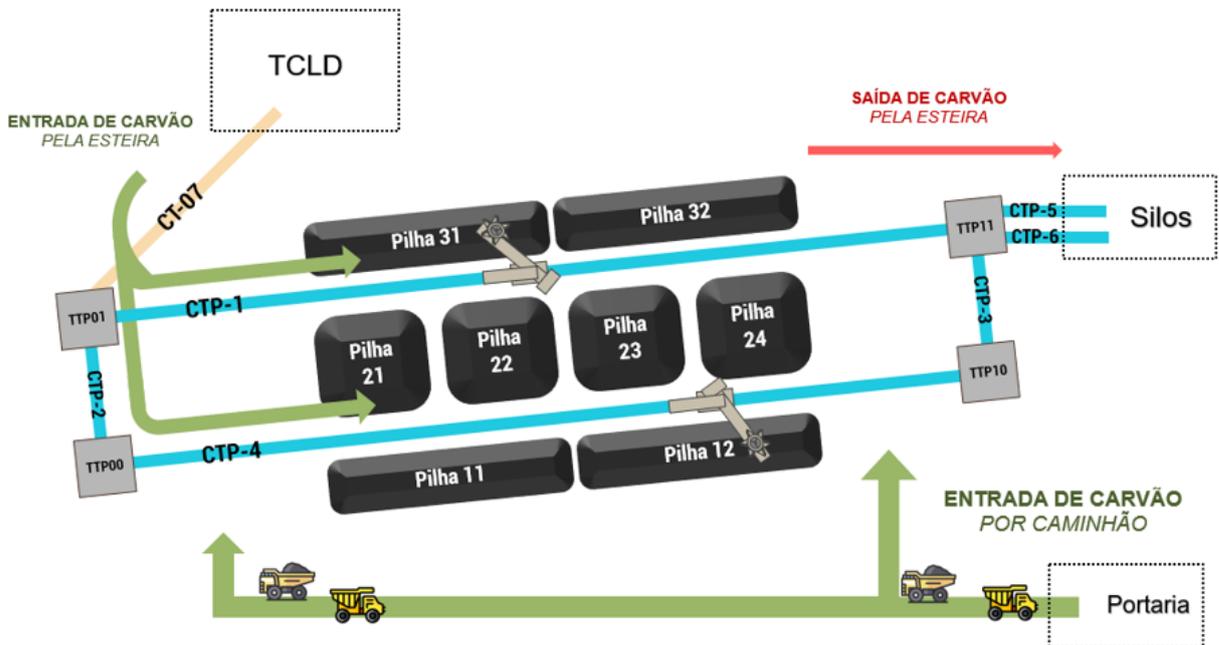
Desse modo, neste trabalho, a entrada do carvão mineral consiste no processo de transporte do minério para seu pátio de estocagem numa termelétrica. Já a saída do carvão mineral consiste no processo de retoma do material estocado no pátio para alimentação do processo de geração de energia.

Conforme os relatos e a coleta de dados nas visitas técnicas à empresa de transporte de minério da UTE Pecém, desenhou-se, na Figura 3, o que seria a logística do carvão do porto ao estoque, os pontos de medição de massa do material e pontos onde há perdas de material. As medições de massa na entrada de carvão mineral são feitas pela arqueação e na balança do porto. Já na saída, a estimativa de massa é feita pela balança dos alimentadores.

Dessa maneira, as entradas de matéria-prima de um pátio de carvão são normalmente provenientes de duas formas: Rodoviária ou TCLD. Já as saídas acontecem somente através de

Torre de Transferência (TT) e Transportador de Correia (TC) do pátio de carvão, que levam a matéria-prima para os silos das unidades de geração. No contexto do pátio em estudo, a Figura 4 foi retirada de SOUSA (2018) para melhor visualização das movimentações de entrada e saída.

Figura 4 – Desenho do Pátio de Estocagem com Entradas e Saídas



Fonte: (SOUSA, 2018)

2.2 Técnicas de Medição de Variáveis do Processo

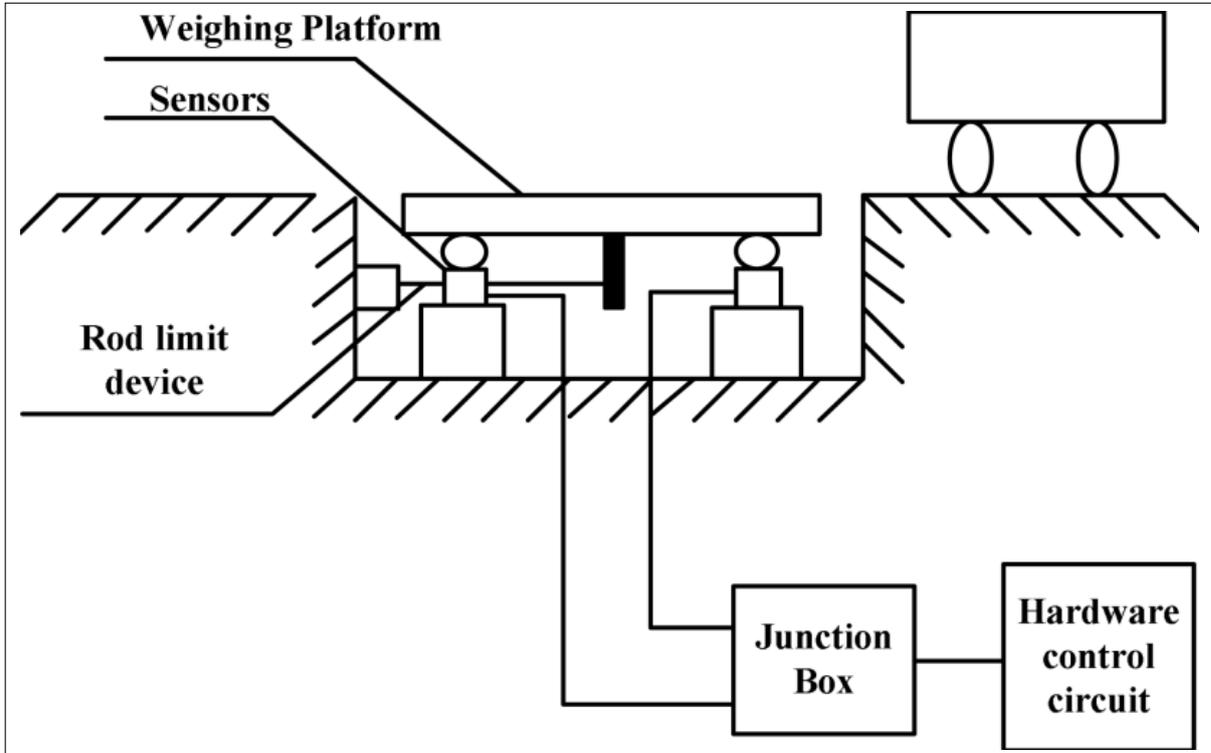
Nesta seção são explanados algumas técnicas de medição das variáveis inerentes ao processo de controle de inventário. São elas: O volume, a massa e a densidade do carvão.

2.2.1 Pesagem

A pesagem é umas das técnicas tradicionais de estimação de massa em processos logísticos. Pode feita tanto de maneira estática, quando o meio de transporte precisa ser parado para medição de peso, quanto dinâmica, quando o meio de transporte pesada continuamente o material em movimento. Independente do meio logístico, conforme ilustrado pela Figura 5, as balanças utilizam o mesmo princípio de medição através da utilização de células de carga instaladas abaixo da plataforma de pesagem que enviam os sinais para um sistema eletrônico de processamento que computa o resultado da medição (LIAO; XI, 2010). Existem sistemas que utilizam esse princípio de pesagem tanto em vias rodoviárias (LIAO; XI, 2010) quanto em ferro-

viárias (ALLOTTA *et al.*, 2015) e em correias transportadoras (NIEDŹWIECKI; PIETRZAK, 2016).

Figura 5 – Princípio de medição de massa através da Pesagem Dinâmica



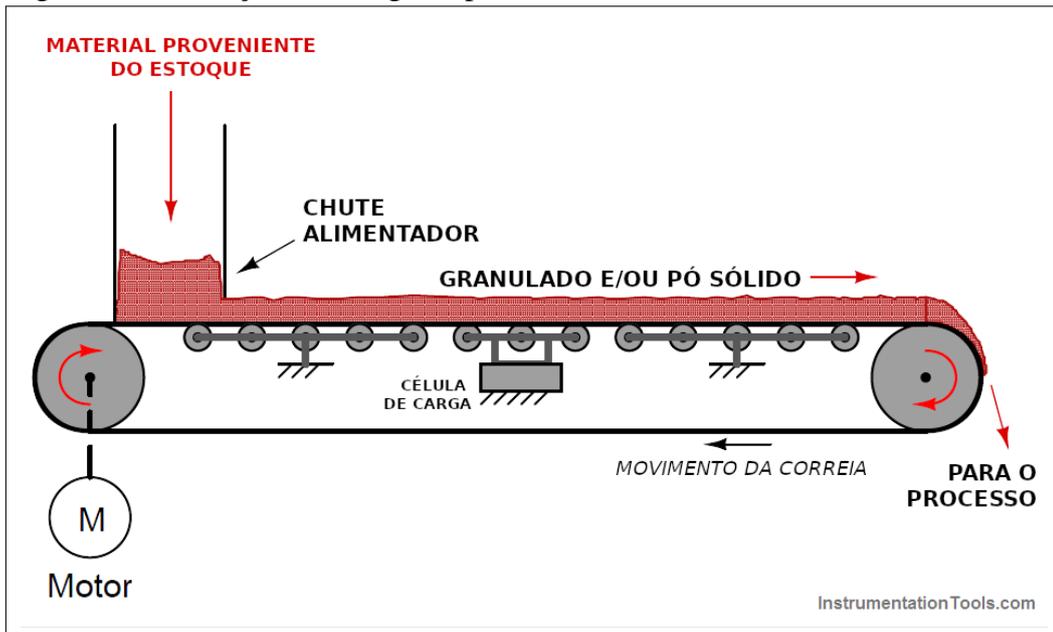
Fonte: (LIAO; XI, 2010)

No caso da termelétrica em estudo, o transporte do carvão só é viável através da pesagem estática pelo meio rodoviário e da pesagem dinâmica nas correias transportadoras, pois não existe malha ferroviária do porto até a usina.

A pesagem realizada nas correias transportadoras é realizada por balanças dinâmicas que são instaladas em pontos estratégicos de correias transportadoras. Por exemplo, tem-se por objetivo a quantificação de carvão consumido para produção de energia. Dessa maneira, uma balança é colocada na saída do alimentador, para medir a quantidade de carvão mineral consumido. Um esquemático da pesagem na saída do alimentador pode ser visto na Figura 6 que foi elaborada por (INSTRUMENTATION TOOLS, 2018).

Uma das maiores desvantagens deste método é a necessidade de calibrações constantes. Como o instrumento de medição está em contato direto com o material em movimento, as vibrações do sistema mecânico e as interferências eletromagnéticas do ambiente industrial sobre os sinais elétricos gerado pela células de carga podem interferir no resultado da medição (HALIMIC; BALACHANDRAN, 1995). Por isso, é necessário que esses sistemas sejam

Figura 6 – Ilustração da Pesagem após o alimentador



Fonte: (INSTRUMENTATION TOOLS, 2018), traduzido pelo autor

periodicamente calibrados para que suas estimativas se mantenham confiáveis (SCIENTIFIC, 2016).

2.2.2 Volumetria

A volumetria é uma técnica de estimação de volume de um determinado objeto, superfície ou forma. Quando se tratando de objetos ou superfícies reais, a volumetria mostra-se como um problema desafiador. Dentre as dificuldades, destaca-se o desafio de representar fidedignamente um objeto de forma digital, para que computadores sejam capazes de processar a informação deste objeto. Um outro desafio é na preservação da topologia, forma e medidas daquele objeto, uma vez que sensores capazes de capturar algumas características tridimensionais daquele objeto possui limitações.

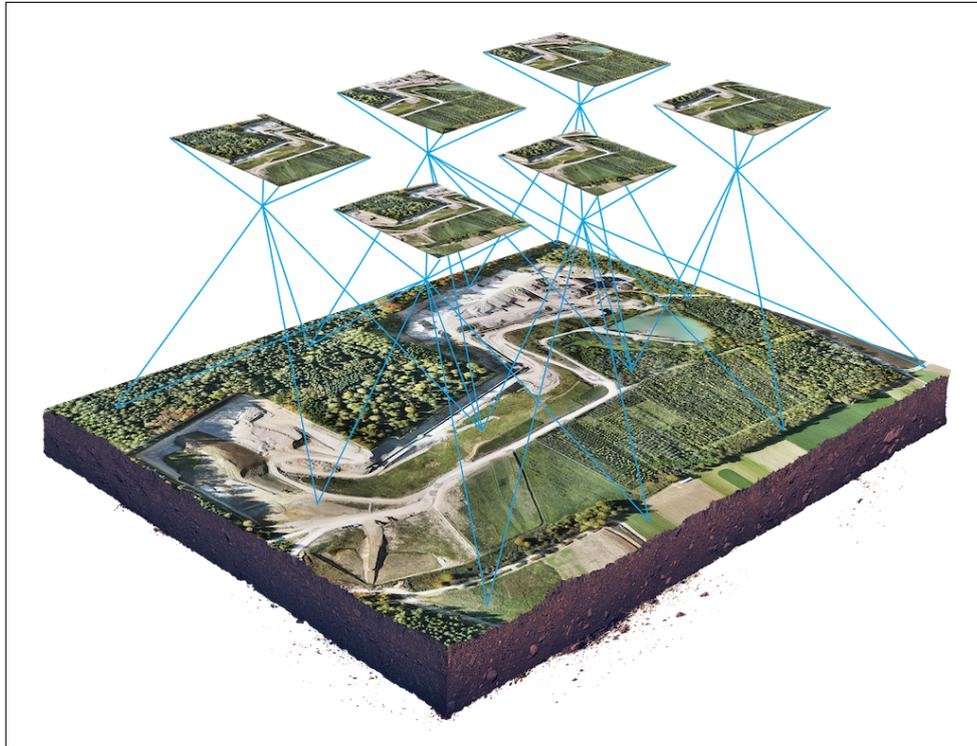
Sendo assim, duas metodologias de volumetria tem se destacado nas ultimas décadas - A clássica fotogrametria e a varredura laser.

2.2.2.1 Fotogrametria

A Fotogrametria é a metodologia mais adotada para modelagem tridimensional de formas reais, sendo a volumetria um dos objetivos alcançados por meio destes modelos 3D (HE *et al.*, 2019) (ARANGO; MORALES, 2015) (RAEVA *et al.*, 2016). Trata-se de um método em que se captura centenas de fotografias georreferenciadas de alguma superfície visando-a de

diferentes perspectivas, como ilustra a Figura 8. Por meio de processamento de imagens e física óptica, algoritmos são capazes de formar um modelo 3D de superfície dos objetos fotografados.

Figura 7 – Ilustração do Levantamento Aerofotogramétrico.



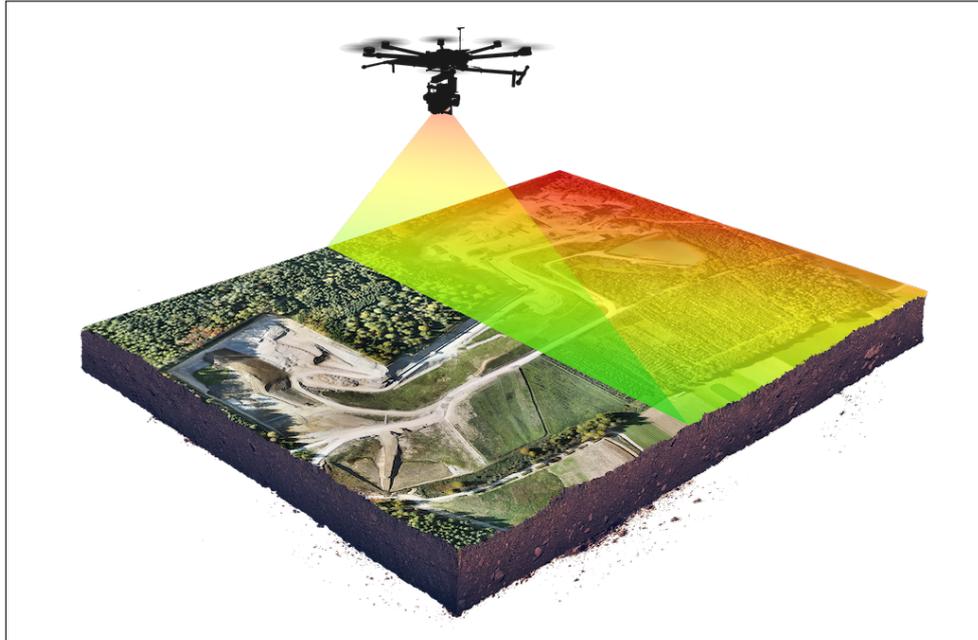
Fonte: <https://bit.ly/2MdAp8z>

Contudo, este sistema possui algumas limitações, tais como a necessidade de instalação de pontos de controle como referência entre as fotos, parametrizações laboriosas e tempos excessivos de cálculos computacionais. O fator mais agravante, porém, é a necessidade de o objeto estar bem iluminado e possuir uma textura que contraste com o solo. Caso contrário as imagens não são capazes de diferenciar as diversas curvas de níveis em relação ao solo. Estas limitações motivaram o uso de outras técnicas para geração do modelo 3D de superfícies, como a varredura laser.

2.2.2.2 Laser

A tecnologia LIDAR é capaz de medir distâncias até um objeto emitindo feixes laser (luz infravermelha invisível) e processando a onda de resposta refletida (AMANN *et al.*, 2001). A varredura laser, por sua vez, é um método de medição que pode ser realizada em qualquer horário do dia, seja durante a noite ou o dia, porque não depende da luz do sol (VOSSELMAN; MAAS, 2010) (Van Genderen, 2010).

Figura 8 – Ilustração do Levantamento LiDAR



Fonte: <https://bit.ly/3c4Rz3k>

Essa técnica tem se mostrado bastante promissora para contornar vários problemas inerentes à fotogrametria (HE *et al.*, 2019). Os sensores LiDAR, quando bem integrados a plataformas móveis tais como VANTs e robôs (ALKAN; KARSIDAG, 2012), usufruem do sistema de localização destes móveis para composição de um modelo 3D de superfície em tempo real. Através de algoritmos de fusão sensorial, as nuvens resultantes de uma varredura automatizada tem se mostrado bastante fidedignas ao objeto real - preservando sua topologia, geometria e forma - com a precisão de alguns centímetros (HUANG *et al.*, 2019).

2.2.3 Densimetria

A densimetria é baseada nos ensaios de densidade orientados pela NBR 7185 (2016) e DNER-ME 92/94 (1994) para a condução de um processo invasivo que necessita a paralisação da operação de transporte de minério nas pilhas analisadas. Normalmente, os resultados dos ensaios de densidade levam até uma semana para serem obtidos, o que causa lentidão na contabilização desta densidade no estoque.

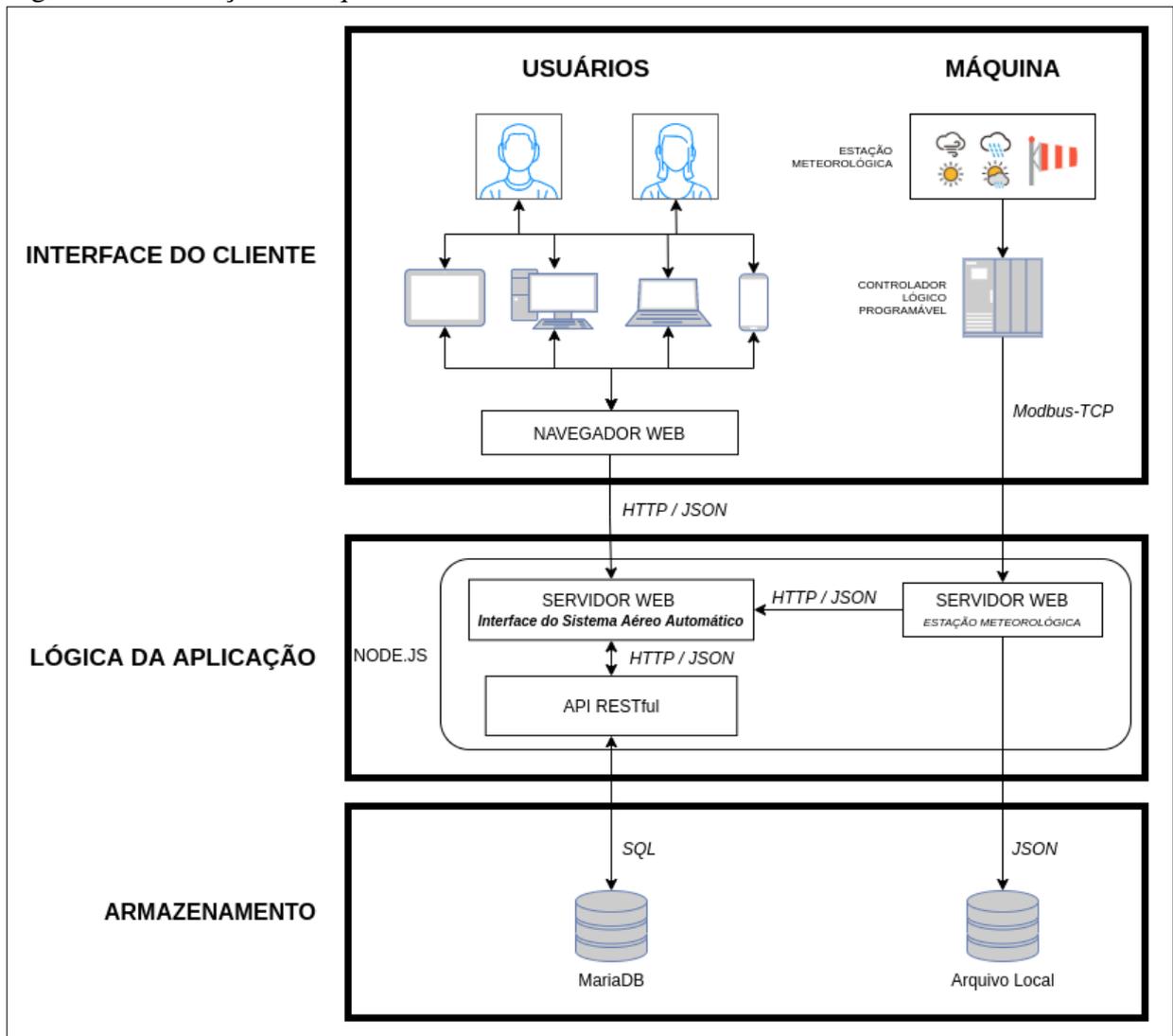
3 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE DADOS DO PÁTIO

Neste capítulo é detalhada a arquitetura do sistema de gerenciamento de dados do pátio de carvão. Introduce-se o assunto discorrendo sobre a arquitetura do sistema e depois sobre o equipamento de varredura aérea.

3.1 Arquitetura do Sistema

A arquitetura do sistema adotada é cliente-servidor de três camadas, pois usuários acessam a plataforma através da camada de interface cliente, existe uma camada da lógica do negócio e outra camada de banco de dados, como mostra a Figura 9. (CHEN *et al.*, 2003; LEE *et al.*, 2008)

Figura 9 – Ilustração da arquitetura cliente-servidor de três camadas do sistema.



Fonte: Autor

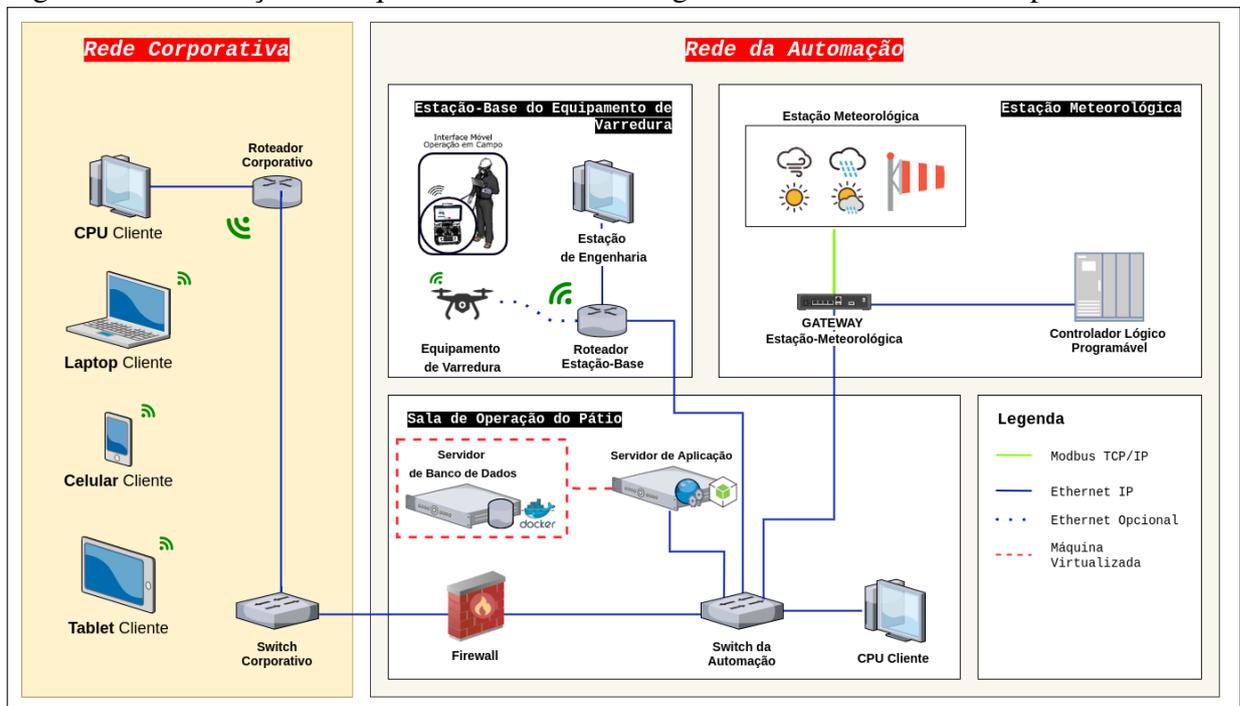
A camada de interface do sistema é composta tanto pela interface dos usuários quanto também da interface de máquinas. Na perspectiva do usuário, a interface do sistema é dada pelo acesso ao servidor de aplicação através dos navegadores web dos seus respectivos dispositivos. Já na perspectiva das máquinas, a interface é feita através da interpretação do Controlador Lógico Programável (CLP) que recebe sinais da estação meteorológica via Modbus-TCP.

Após a camada de interface do sistema, tem-se a camada da lógica de aplicação. Nesta camada as informações são processadas e organizadas, tanto para alimentar a interface quanto para ser armazenada no banco de dados. As informações inseridas pelos usuários é recebida pela ISAA

A última camada é a de armazenamento, que é onde o banco de dados do sistema recebe as informações provenientes da camada de lógica do sistema. F

Adicionalmente, outra forma interessante de visualizar o sistema é através da sua disposição espacial. A informação é coletada, armazenada e disposta em servidores para o acesso de dispositivos clientes. São partes componentes do sistema: (i) estação-base com equipamento de varredura aérea, (ii) estação meteorológica, (iii) sala de operação do pátio e (iv) a rede corporativa.

Figura 10 – Ilustração da arquitetura do sistema de gerenciamento de dados do pátio.



Fonte: Autor

A estação-base é o ponto de apoio do equipamento aéreo de varredura. É o local

onde o equipamento é armazenado, recarregado e também usado para se conectar com a estação de engenharia para transmitir os dados do levantamento ao banco de dados.

Conforme sugere a Figura 10, a estação de engenharia é um computador localizado no terminal da rede do sistema. Basicamente, esse computador é responsável por processar os dados coletados pelo equipamento de varredura LiDAR e enviar para REST API do banco de dados.

Em suma, a estação de engenharia realiza o processo de carregamento dos dados coletados, realiza filtragem automática da nuvem de pontos, dispõe ao usuário a utilização de segmentação manual, processa a nuvem de pontos gerando informação de volume das pilhas de carvão que, se aprovadas, são armazenadas no banco de dados para atualização de referência do estoque. Assim, é possível realizar o registro de referência de volume das pilhas de carvão no pátio utilizando o equipamento de varredura nativo do sistema.

Por meio do Roteador da Estação-Base e um *Switch*, um link de comunicação foi criado entre a estação de engenharia e os servidores do sistema. Como pode ser visto na Figura 10, os servidores se encontram na sala de operação. Após aprovação e validação das estimativas de volume da etapa anterior, os dados processados são encaminhados ao servidor de banco de dados para armazenamento permanente.

O servidor de banco de dados é responsável por hospedar a RESTful API, que faz a interface entre os sistemas e o banco de dados sistema, e por armazenar todas as informações inseridas através da ISAA, Estação de Engenharia e outras fontes de informação disponíveis em campo. Para implementação do Banco de Dados, foi utilizado a tecnologia MariaDB. O servidor de banco de dados concentra as informações de volumetria, metadados e registros de voos para consultas arbitrárias. Estes dados são estampados com o tempo para uso na ISAA, por exemplo.

O servidor de aplicação é onde a plataforma ISAA é hospedada. Este dispositivo é responsável por garantir que a aplicação esteja disponível para que os usuários possam acessar a informação do banco de dados de forma organizada.

Por fim, tem-se a rede corporativa. Trata-se do conjunto de dispositivos clientes conectados à rede que acessam a aplicação através do navegador. Uma vez que o aplicativo é disponibilizado via plataforma web, o sistema é agnóstico quando ao hardware que acessa o endereço - bastando apenas que o usuário possua as devidas credenciais para acesso ao sistema e dados.

3.2 Instrumentação do Sistema

Esta seção está dedicada à explanação de toda a instrumentação necessária para o levantamento dos dados necessários para atualização do estoque por meio de varreduras automatizadas.

3.2.1 Estação Meteorológica

Uma estação meteorológica consiste num conjunto de instrumentos de medição que monitoram as variáveis climáticas, como a temperatura ambiente, a umidade relativa do ar, velocidade do vento, precipitação de chuvas, entre outras grandezas (OLIVEIRA, 2014).

A estação meteorológica de um pátio de carvão de uma usina termelétrica a carvão é utilizada na automação do sistema de aspersão de água através do uso das informações de umidade relativo ar e temperatura ambiente (SOUSA, 2018).

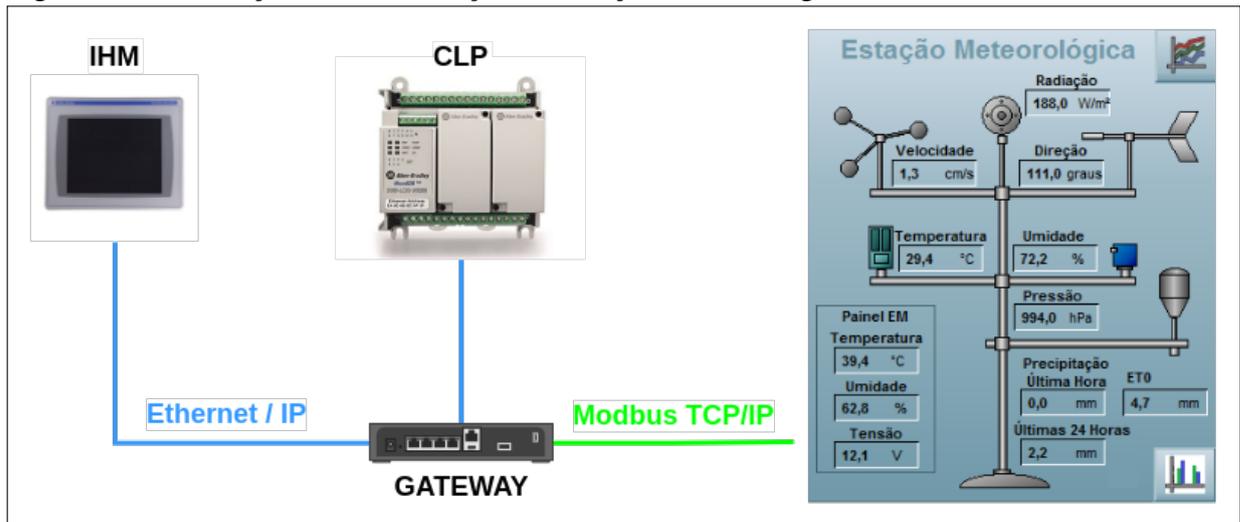
Para implementação de uma das funcionalidades desse sistema, foi desenvolvido um servidor de comunicação com o sistema de automação da aspersão do pátio para coletar as informações dos sensores da estação meteorológica, tornando possível saber qual o estado do clima a cada momento de uso do sistema de varredura aérea.

Assim, é possível alertar o usuário quando não é recomendado a realização da missão de varredura, segundo as limitações do quadricóptero indicadas pela fabricante. A Figura 11 ilustra um esquemático simples do sistema de aspersão, mostrando como acontece a comunicação da Estação Meteorológica com o CLP. Como o sistema de aspersão está conectado na rede da automação, ilustrado na Figura 10, é possível acessar o CLP através do gateway. Dessa maneira, uma rotina foi implementada para o servidor receber constantemente informações do CLP através do protocolo TCP/IP.

3.2.2 Equipamento Aéreo de Varredura Laser

Os equipamentos utilizados na construção do sistema de mapeamento 3D aéreo são apresentados nas subseções a seguir. São, a grosso modo, todos os componentes inerentes ao sistema de varredura automatizada, naturalmente inerentes ao VANT.

Figura 11 – Ilustração da comunicação da Estação Meteorológica e o CLP.



Fonte: Autor

3.2.2.1 Drone Wind 4

Wind 4 é um quadricóptero industrial com fator de proteção IP43, contra chuva, poeira, partículas e fortes ventos. O VANT é capaz de suportar até 10 Kg de carga útil (*Payload*), suficiente para levantar todos os equipamentos e sensores utilizados no sistema desenvolvido. Dentre suas características funcionais, a mais importante é a presença do controlador de voo DJI A3 o qual permite a parametrização de ajustes de controle da aeronave.

O controlador DJI A3 também oferece a ferramenta de desenvolvimento OSDK (*Onboard Software Development Kit*), que permite a configuração de parâmetros de voo, além da implementação e desenvolvimento de missões próprias, e compatibilidade com o DJI D-RTK, explicado posteriormente. Assim, este controlador de voo permite a implementação de aplicações de voo personalizadas para a indústria.

3.2.2.2 Sistema D-RTK: Ground e Air Station

O sistema D-RTK consiste de um módulo de hardware adicional que permite a estimação de posição do quadricóptero durante o voo com precisão centimétrica. A integração consiste em desenvolvimento de software embarcado e também conexões físicas de hardware entre um módulo D-RTK e o controlador de voo DJI A3 presente no Wind 4, além de uma estação D-RTK em solo.

A tecnologia RTK é capaz de fornecer estimações de localização com precisão até 5 cm devido mediante uso de uma estação base (do Inglês, *Ground Station*). Trata-se de uma

estação fixa em solo a qual se comunica simultaneamente com os satélites disponíveis e com o quadricóptero. Através dos princípios de *Time of Flight* e sincronia de tempos e fases dos sinais de GPS, o conjunto RTK calcula pequenas diferenças de posicionamento entre a *Ground Station* e a *Air Station* acoplado ao Wind 4, oferecendo assim a prometida precisão. O conjunto do *Ground Station* é composto por um módulo D-RTK com antena, um módulo de comunicação Datalink 900 *ground* com antena, uma bateria TB50 e suportes mecânicos.

A *Air Station* é composta por um módulo D-RTK com antenas e um módulo de comunicação Datalink 900 *air*. A comunicação entre o módulo D-RTK e o controlador DJI A3 integrado ao Wind 4 é realizada através da rede *CANBUS* interna. O conjunto de antenas do *air system* pode ser visto na Figura 12.

3.2.2.3 LiDAR

O sensor LiDAR é um equipamento que através da emissão e recepção de feixes de luz é capaz de medir distâncias. O LiDAR 2D utilizado realiza uma varredura em um eixo cartesiano, coletando pontos em sequência, sendo estes pontos salvos em forma de vetores. Em seguida uma leitura subsequente é feita para capturar uma seção vizinha. Por fim, esses vários vetores salvos são agrupados formando uma nuvem de pontos tridimensional.

O LiDAR utilizado para este sistema é do modelo SICK LD-MRS420201 que capta pontos distantes em até 150 metros, possuindo também frequência de aquisição configurável entre 12.5Hz e 50Hz. O sensor dispõe de um ângulo de abertura de até 110°, ideal para varredura de grandes áreas. A nuvem de pontos obtida pelo LiDAR é enviada para o computador embarcado, *Manifold*.

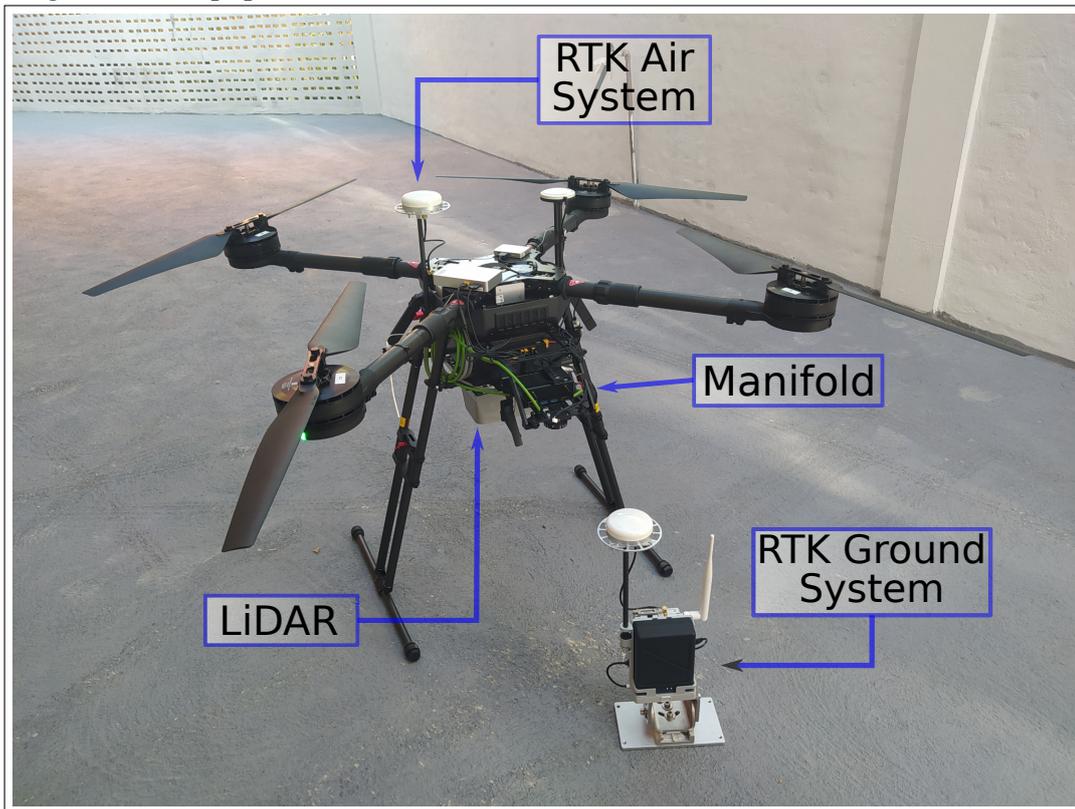
3.2.2.4 Manifold

Com o propósito de processar os dados recebidos pelos sensores, um computador embarcado foi utilizado. Possuindo um processador *NVIDIA Jetson TX2* contendo *engine* para processamento em paralelo de imagens e nuvem de pontos, 8 Gb de memória RAM, 128 GB de memória de disco SSD e 32 GB de memória EMMc para o sistema operacional. O processador *NVIDIA* contém 2 núcleos físicos, cada um comportando 3 *cores* virtuais de até 2000 Mhz de *clock*. A *Manifold V2* possui também saída para antenas Wi-Fi, saídas para comunicação com o VANT, entrada para Ethernet e até 5 entradas USB. O sistema operacional base presente no *Manifold V2* é o Ubuntu 16. Sendo assim, ele é o *host* do *framework* de robótica, ROS, que é

utilizado na construção da nuvem de pontos utilizando códigos e nós específicos para tal tarefa.

Por fim, os equipamentos apresentados anteriormente, sensor LiDAR, microcomputador Manifold e *Air Station* do RTK são acoplados no drone industrial Wind 4. Tem-se então o sistema de aquisição completo apresentado na Figura 12.

Figura 12 – Equipamento Aéreo de Varredura



Fonte: Autor

O processo de utilização do equipamento é feito em etapas. A primeira etapa é a configuração dos parâmetros de voo por um operador. O segundo processo consiste na aquisição das nuvens de pontos da superfície sobrevoada através de um voo autônomo. E a terceira e última etapa é a análise dos pontos adquiridos. Esses processos são detalhados nas subseções seguintes.

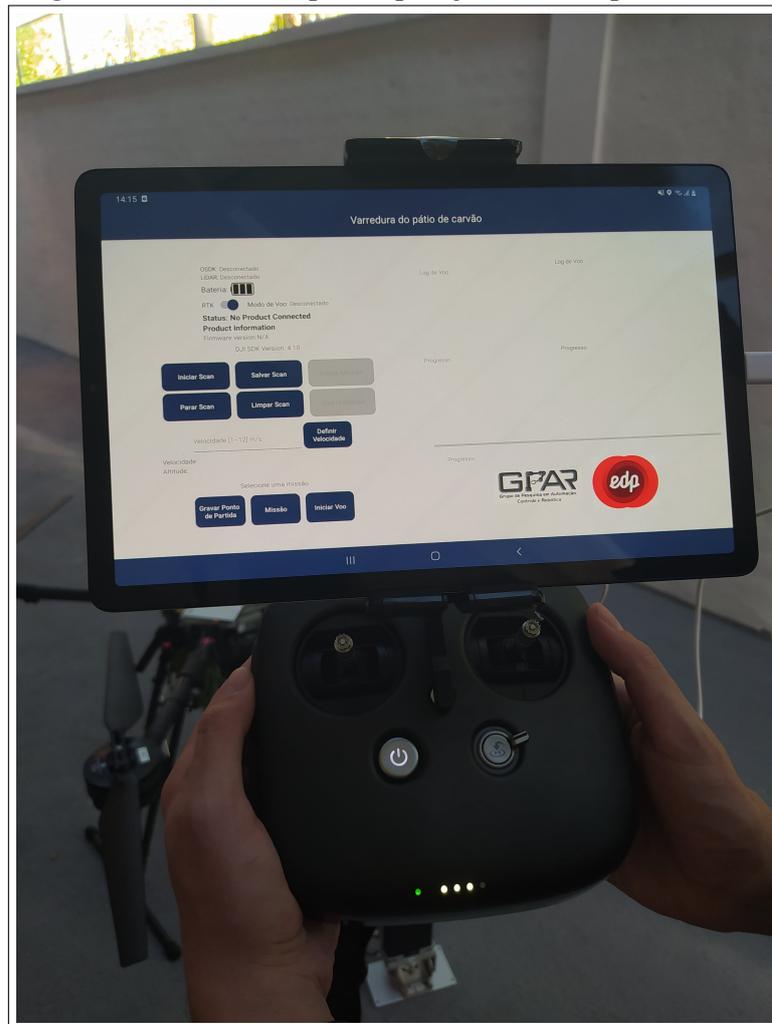
3.2.2.5 Parâmetros de voo

O processo de utilização do sistema de mapeamento tridimensional inicia-se pela escolha do plano de voo, ou seja, a trajetória a ser percorrida pelo VANT, e definição dos parâmetros de voo. São eles: altura de voo, velocidade de curso e frequência de amostragem do sensor. Esses parâmetros são definidos pelo operador em campo através do aplicativo desenvolvido para dispositivos móveis *Android*, como um *tablet*, juntamente com o controle

remoto do drone.

Através do *Mobile Software Development Kit (MSDK)* da DJI, o aplicativo foi desenvolvido para ser conectado com o controle do drone e fazer comunicação via telemetria com a aeronave que contenha OSDK. O sistema mobile é apresentado na Figura ??.

Figura 13 – Interface para Operação em Campo



Fonte: Autor

Com este aplicativo é possível ter acesso a informações diretas dos sensores do Wind 4. Por exemplo, é possível a leitura da bateria, altitude, velocidade atual, além de um *log* de voo com informações referentes a aquisição dos pontos pelo LiDAR. Utilizando este aplicativo o operador define a trajetória que o VANT percorrerá através de um sistema de “*waypoints*”, que são pontos de localização georreferenciados. O operador também consegue liberar o início da missão autônoma de coleta de dados feita pelo VANT através de um botão do aplicativo.

3.2.2.6 *Reconstrução Tridimensional*

Após o operador liberar o início da missão o quadricóptero inicia a operação. Em seguida, o VANT decola e atinge a altitude definida pela missão. Posteriormente, o VANT se dirige ao primeiro *waypoint* e inicia a aquisição dos pontos através do LiDAR. A partir desta etapa o drone passa a seguir o caminho pré-definido de operação fazendo a leitura e iniciando o processo de mapeamento. Uma vez que o quadricóptero alcança o ultimo *waypoint*, as amostragens do sensor LiDAR são suspensas e o VANT retorna ao ponto de decolagem (do Inglês, *Home Point*).

Uma vantagem do sistema desenvolvido é a mobilidade do quadricóptero e capacidade de percorrer longas distâncias rapidamente. Além de usufruir da aquisição de pontos pelo sensor LiDAR, o ângulo de abertura deste permite fazer um mapeamento amplo da região. Todos os pontos lidos pelo sensor são enviados para o microcomputador *Manifold*. Nele ocorre o cômputo da transformação da nuvem do quadro referentes ao quadro LiDAR para o quadro do mapa a partir de uma rotação e uma translação de quadros.

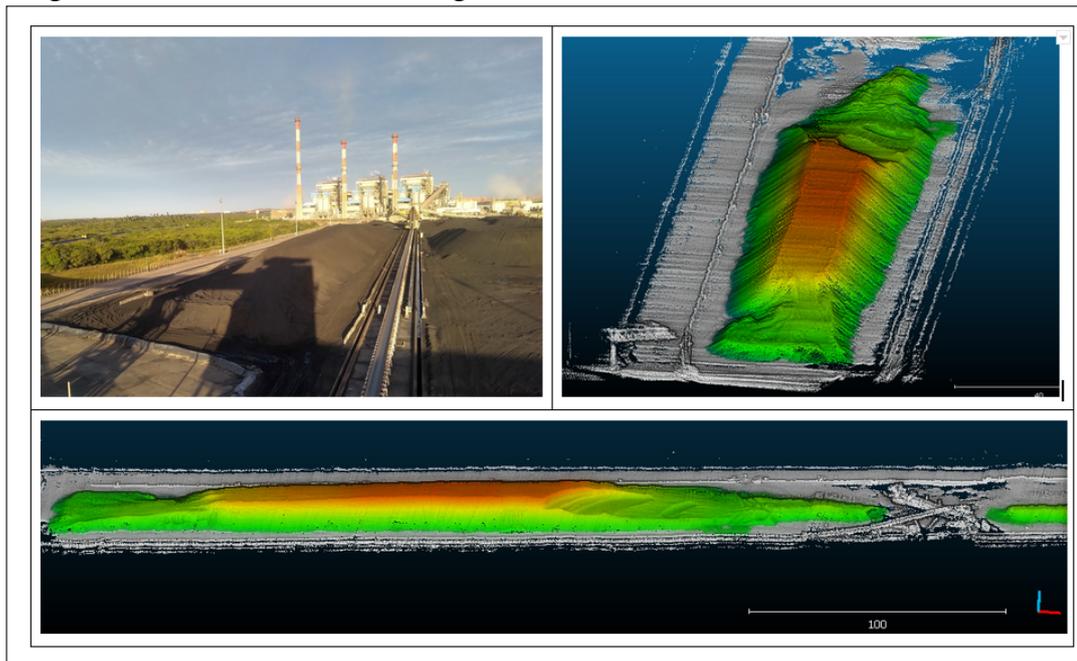
3.2.2.7 *Dados Gerados pelo Equipamento*

3.2.2.7.1 *Nuvem de Pontos*

Uma vez que o sensor LiDAR adquire os pontos e a *Manifold* os transforma para o quadro de referência do mapa, ou quadro global, os pontos são acumulados à medida que o VANT se descola sobre a pilha. Após a finalização da missão, o conjunto total de pontos é gravado na memória persistente SSD da *Manifold* na forma de um arquivo da *Point Cloud Library (PCL)*. Este arquivo contém cada ponto obtido da varredura obtido e transformado, efetivamente representando toda a superfície sobrevoada pelo VANT na forma de pontos. Na Figura 14 mostra-se o resultado de uma varredura e a respectiva pilha sobrevoada.

As nuvens de pontos são uma estrutura de dados cruciais para o cálculo do volume. São o formato de entrada para os algoritmos de volumetria. Tais algoritmos iteram sobre os todos os pontos de forma a identificar o envólucro que melhor se aproxima da superfície adquirida. De posse deste envólucro, o volume é calculado. É importante mencionar que durante ao fim da aquisição de pontos, a nuvem é pre-filtrada para remoção de pontos *outliers* que apenas dificultariam o calculo de volume através de filtros estatísticos.

Figura 14 – Nuvem de Pontos Segmentada de uma Pilha de Carvão



Fonte: Autor

3.2.2.7.2 Metadados do Drone

É essencial que todas as missões realizadas pelo VANT registrem importantes dados que documentem o estado em que o VANT realizou seu voo. Tais informações são listadas a seguir.

- Missão Seleccionada;
- Hora de Início do Voo;
- Carga da Bateria Pré-Decolagem;
- Origem Geográfica
- Distância Percorrida;
- Hora de Vim do Voo;
- Carga da Bateria Pós-Pouso.

Estes dados são essenciais para que se obtenha uma ideia a respeito do consumo de baterias e vida útil da instrumentação ao longo do tempo, destacando-se as horas em que o voo foi realizado e a bateria consumida no percurso. Demais importantes informações são disponibilizadas, como a missão selecionada e a origem no momento do voo. A origem é usada no corte geográfico das nuvens durante o processamento na estação de engenharia. Na Figura 15, uma amostra de metadados obtidos de um ensaio realizado em campo é mostrada.

Figura 15 – Amostra de Metadados gerado em missão

```
{
  "missao": "321.wpt",
  "voo_inicio": "2020-12-08T10:26:35",
  "bateria_inicio": "100.000000",
  "origem": "-3.582762,-38.876713,-89.884178",
  "distancia_total": "4307.041016",
  "voo_fim": "2020-12-08T10:41:40",
  "bateria_fim": "40.000000"
}
```

Fonte: Autor

4 ISAA: INTERFACE DO SISTEMA AÉREO AUTOMÁTICO

Com o intuito de suprir a necessidade da comunicação direta da informação gerada pelo fluxo de entrada e saída de minério do pátio de carvão para a gerência da operação de transporte de minério, uma interface do sistema aéreo automático foi desenvolvida.

Este capítulo relata sobre o desenvolvimento da plataforma, a escolha da linguagem de programação e as bibliotecas utilizadas, a metodologia concebida para contabilidade de estoque e as telas da plataforma.

4.1 Desenvolvimento de Plataforma Web

Esta seção foi pensada para discutir as motivações da escolha da linguagem de programação JavaScript e as bibliotecas que dão suporte para o desenvolvimento da aplicação, atendendo as necessidades do sistema requerido.

4.1.1 A escolha da linguagem de programação JavaScript

A escolha do JavaScript deveu-se a definição de alguns critérios adotado para o desenvolvimento de um *software* como um produto final. Levando-se em conta a restrição de tempo e orçamento do projeto, definiu-se os requerimentos da aplicação de suporte à gestão de inventário: ser multiplataforma, possuir *design* responsivo, ser fácil de manter, possibilitar integrações, e ser prático.

O funcionamento multiplataforma é considerado para possibilitar que a aplicação funcione em vários tipos de dispositivos diferentes, facilitando o acesso e a realização do controle e monitoramento do estoque por parte do setor administrativo da operação do pátio. Assim, a aplicação deveria ser acessada através de celulares e computadores, por exemplo. Nessa perspectiva, desenvolver uma aplicação web, funcionando em navegadores de internet (como Google Chrome, Firefox e Safari), propiciaria uma grande vantagem. Por isso, o JavaScript foi considerado.

Tendo em vista o critério anterior, é importante que a aplicação possua um *design* responsivo. Na prática, isso quer dizer as interfaces do sistema, ou as páginas, devem se adequar para mais de um tipo de dispositivo. Assim, os tamanhos de figuras, fontes e estruturas são reduzidas e muitas vezes são dispostas em de maneira diferente em cada dispositivo. Existem bibliotecas que podem ser utilizadas em JavaScript para contornar os problemas relacionados à má

responsividade dos aplicativos. Nesse caso, foi utilizado a biblioteca "Reactstrap" que traz a responsividade do "Twitter Bootstrap" para o desenvolvimento das interfaces em React. Os componentes dessa biblioteca facilitam o desenvolvimento *front-end* com as classes de CSS e funções do JavaScript que são usadas para evitar os problemas de responsividade. (BALASUBRAMANEE *et al.*, 2013)

Não apenas a ter acesso de vários dispositivos, é importante considerar que a manutenção da plataforma no longo prazo. Por isso, outro motivo da escolha do JavaScript deve-se a grande comunidade de desenvolvedores voltados para aplicações web. Isso possibilita a resolução de problemas de forma mais rápida. Além disso, como o desenvolvimento das interatividades da interface seria feitos com o JavaScript, a aplicação de servidor também seria desenvolvida com JavaScript. Isso é interessante do ponto de vista do trabalho em equipe com o desenvolvimento no servidor e interfaces na mesma linguagem. Caso o Python fosse utilizado no servidor, por exemplo, para haver uma melhor colaboração os desenvolvedores precisariam aprender a linguagem de desenvolvimento do outro, o que levaria mais tempo de desenvolvimento.

Outro fator considerado foi a integrabilidade. Em campo, existem vários sistemas que podem enviar dados para a plataforma. Com o desenvolvimento de uma API REST em JavaScript, é possível coletar dados da rede da automação. Neste ponto, é interessante destacar a importância do Node.js na modularização das requisições, propiciando a combinação de protocolos de comunicação, como TCP e HTTP. (ZHANG *et al.*, 2017)

Por fim, por ser um software que visa proporcionar mais facilidade e acesso a informação, a praticidade deve ser considerada. Nessa perspectiva, a utilização de uma aplicação web *Single-Page Application* (SPA) em JavaScript torna possível que não haja necessidade dos usuários instalarem o software em seus computadores para poderem acessar os dados. Assim, quando precisarem acessar a plataforma apenas digitaram o endereço da rede no navegador de seus dispositivos, ou acessar um link de internet, e a aplicação funcionará como uma aplicação nativa do dispositivo que está acessando. (MIKOWSKI; POWELL, 2013)

4.1.2 Bibliotecas e Frameworks

Tem-se por objetivo nesta subseção a apresentação das bibliotecas utilizadas para o desenvolvimento da plataforma.

4.1.2.1 *React.js*

O React.js é uma biblioteca de código aberto para *front-end* desenvolvida pelo grupo Facebook para o desenvolvimento modularizado, através de componentes, da interface do usuário (UI, do inglês) em aplicações no ambiente web. (RASCIA, 2018)

Esses componentes são blocos de códigos HTML e JS. A utilização dos componentes traz excelentes benefícios no desenvolvimentos ao deixar o código mais limpo, facilitando a manutenção no longo prazo. (CHINNATHAMBI, 2018)

Além disso, segundo Inkane *et al.* (2019), alguns motivos de se utilizar o React.js no desenvolvimento de uma aplicação web é de seguir uma estrutura SPA e de ser possível gerenciar os estados da aplicação de maneira prática, como se fosse um aplicativo nativo do Sistema Operacional do dispositivo do usuário. (MIKOWSKI; POWELL, 2013)

4.1.2.2 *Node.js*

O Node.js é um ambiente de execução Javascript *server-side* que permite o desenvolvimento de projetos centrados em componentes. Na prática, isso quer dizer que a falha de um dos componentes não irá afetar a estabilidade do sistema como um todo. Permitindo o desenvolvimento de um sistema tolerante a falhas. Um dos motivos para a sua escolha é para criar a ambientação da API REST como interface da aplicação no servidor de Banco de Dados. Ter a possibilidade de projetar um sistema REST dá a possibilidade do banco de dados se conectar e coletar dados de várias fontes diferentes disponíveis na rede, possibilitando posteriormente a requisição desses dados para a ISAA.

4.1.2.3 *Three.js*

É uma *framework* escolhida para se desenvolver a página de visualização da nuvem de pontos no navegador. Também utilizado para o desenvolvimento de jogos tridimensionais na internet, esta biblioteca tem como base a criação de um cenário, uma câmera, uma iluminação e um renderizador para a inserção dos elementos visuais desejados dentro do contexto do cenário. (PENG, 2014)

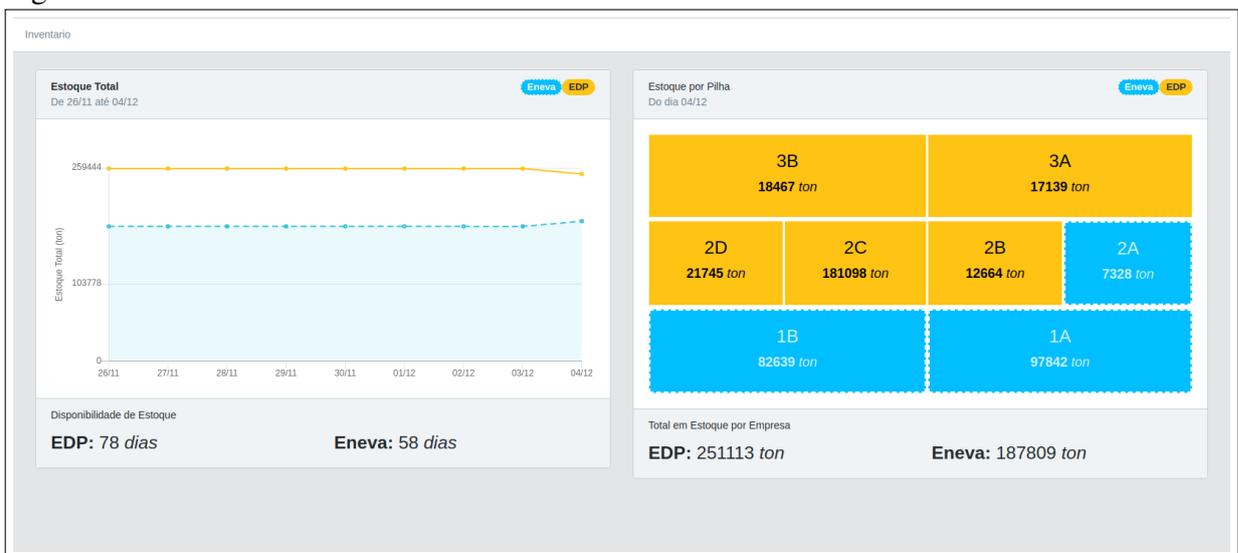
4.2 Telas da Plataforma ISAA

Nesta seção serão apresentadas as telas da plataforma web desenvolvida para dar suporte a gestão de inventário de uma operação de transporte de minério.

4.2.1 Dashboard de Inventário

A *dashboard* de inventário é destinada ao acompanhamento e controle do estoque no pátio de carvão. A página é composta de um gráfico de estoque por empresa, indicador de disponibilidade de estoque para cada empresa, e um painel com a massa de carvão disponível em cada pilha e a massa total de cada empresa totalizada. Esses elementos visuais foram desenvolvidos para facilitar a análise do estoque.

Figura 16 – Dashboard do inventário de carvão mineral



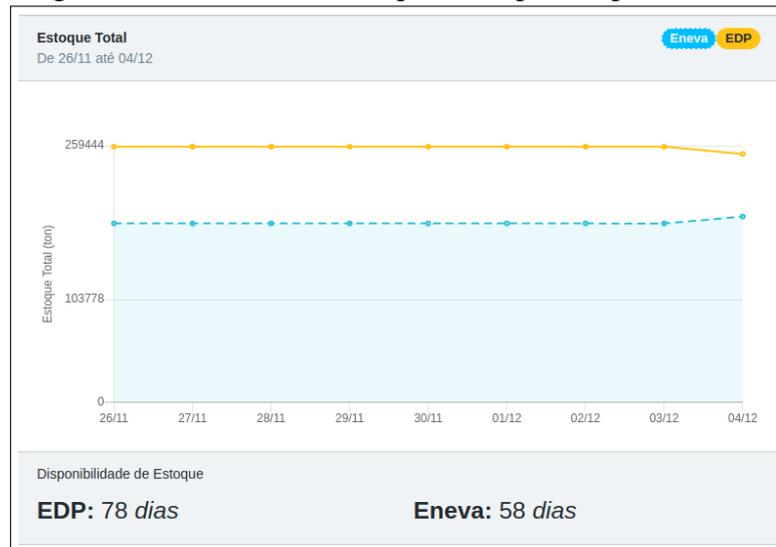
Fonte: Autor

4.2.1.1 Estoque Total e Disponibilidade

O gráfico de estoque total foi gerado com os dados de fechamento diário de estoque. Dessa forma, o gráfico indicava as estimativas do estoque nos últimos 9 dias. Essas informações são coletadas da API RESTful e são organizadas pela isaa para a visualização no gráfico, conforme a Figura 17.

Logo abaixo ao gráfico de estoque total, foi adicionado um indicador de disponibilidade de estoque para cada empresa com base na somatória de toda massa da empresa, seja EDP ou Eneva, dividido por 3255 toneladas, correspondente ao consumo em plena carga da Unidade

Figura 17 – Gráfico de Estoque Total por Empresa



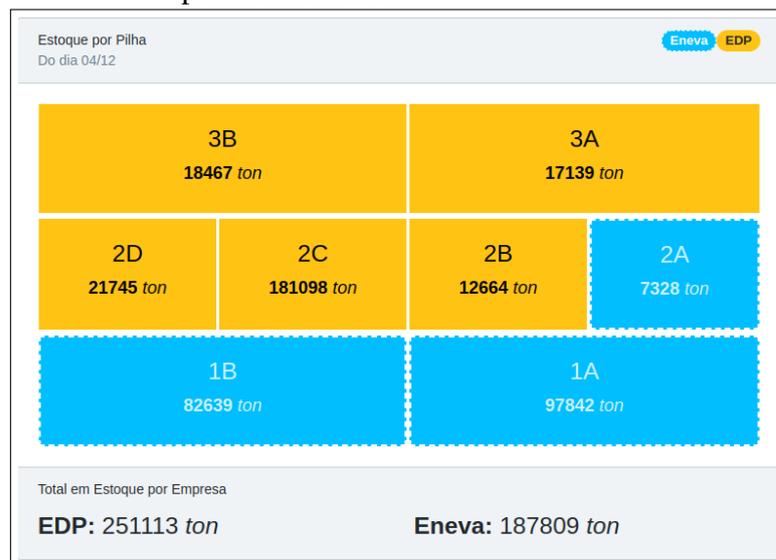
Fonte: Autor

de Geração (UG) da usina. Essas informações são processadas na própria plataforma ISAA.

4.2.1.2 Painel Estoque por Pilha com Total por Empresa

É um painel com o layout do pátio que mostra a estimacão mais recente do estoque. Essas informaçoes coletadas da API RESTful da estimacão mais recente antes do fechamento.

Figura 18 – Painel Atualizado com a Massa de Carvão Disponível no Pátio



Fonte: Autor

Mostra o valor total mais recente de carvão em tonelada por empresa. Essas informaçoes são coletadas da API RESTful e são processadas na própria plataforma ISAA.

Vale ressaltar que o layout do painel foi projetado para ser associado com a disposição das pilhas nos desenhos industriais do pátio de carvão. Dessa maneira, é mais fácil o usuário monitorar as variações de carvão com base nas atividades de operação.

4.2.2 Inserção de Registros

Esta página reúne todos os formulários para inserção de registros. Pela Figura 19, verifica-se que a interface em dois blocos: o da esquerda corresponde aos formulários de registros diferenciais e o da direita corresponde aos formulários de registros de referência. Essa organização possibilita que o mapeamento visual dos botões de direcionamento para os formulários possam ser gravados de forma lógica. No Capítulo 5, o conceito de registro diferencial e referencial é detalhado para maior compreensão da MACE.

Figura 19 – Página com opções de inserção de registros



Fonte: Autor

4.2.2.1 Descarregamento do Porto

Como todo carvão que chega na usina é proveniente do Porto do Pecém, como comentado no Capítulo 2, intitulou-se este registro de "Descarregamento do Porto". Em outras palavras, é a página onde o usuário inserirá as informações de massa estimada num formulário de entrada de carvão no pátio de estocagem.

Na Figura 20, vê-se o formulário utilizado para inserção dos dados. Observa-se os seguintes campos para preenchimento:

Figura 20 – Formulário para Estimação de Entrada de Massa de Carvão do Pátio

Fonte: Autor

- **Empresa:** é um campo não obrigatório que auxilia o usuário a não confundir o preenchimento, retirando da tela os campos que não correspondem a empresa selecionada.
- **Logística de Entrada:** é um campo obrigatório para indicar qual o meio logístico utilizado no transporte do carvão. Essa informação pode ser utilizada para geração de indicadores de eficiência no transporte do minério.
- **Pilhas de Carvão:** é um campo obrigatório onde o usuário deve inserir as estimações de massa de carvão correspondente a cada pilha que recebeu carvão.

Este formulário tem por objetivo alimentar o banco de dados com registros de entrada de material no pátio através da RESTful API, e, conseqüentemente, o algoritmo da MACE com a informação gerada do cruzamento de dados da Arqueação e/ou Balança do Porto com os da própria operação da Transportadora de Minério, que administra o pátio.

Assim, os usuários poderão entrar com informação estimadas de massa de carvão que é estocado do pátio pelo descarregamento do navio no porto.

4.2.2.2 Consumo da Usina

O único destino do carvão ao sair do pátio é o consumo na usina, por isso, intitulou-se "Consumo da Usina" a página de cadastramento dos registros de saída de carvão do pátio.

Figura 21 – Formulário para Estimação de Saída de Massa de Carvão do Pátio

The screenshot shows a web interface for 'Registros de Inventário / Saídas'. The main form is titled 'Registro de Saída Manual' and contains the following elements:

- Empresa:** A dropdown menu with the placeholder text 'Selecione uma opção...'.
- Pilhas de Carvão:** A section containing eight input fields, each labeled with a pile name and the instruction 'Digite a quantidade de carvão estocado...':
 - Pilha 3B
 - Pilha 3A
 - Pilha 2D
 - Pilha 2C
 - Pilha 2B
 - Pilha 2A
 - Pilha 1B
 - Pilha 1A
- Buttons:** A 'Cancelar' button on the bottom left and an 'Adicionar' button on the bottom right.

Fonte: Autor

Na Figura 21, vê-se o formulário utilizado para inserção dos dados. Observa-se os seguintes campos para preenchimento:

- **Empresa:** é um campo não obrigatório que auxilia o usuário a não confundir o preenchimento, retirando da tela os campos que não correspondem a empresa selecionada.
- **Pilhas de Carvão:** é um campo obrigatório onde o usuário deve inserir as estimações de massa de carvão correspondente a cada pilha que recebeu carvão.

Diferentemente da entrada, como é possível perceber pelos campos do formulário, não é necessário indicar uma logística porque o único caminho para o carvão ser consumido é através das esteiras transportadoras.

4.2.2.3 Varredura Aérea

A página para inserção do registro de referência de volume das pilhas do pátio foi intitulada de "Varredura Aérea" tendo-se em vista que os dados mais assertivos de volume são coletados de varreduras aéreas, como o levantamento aéreo a laser e a fotogrametria. Por isso a utilização do termo.

Como é possível ver na Figura 22, neste formulário é inserido somente as informações de volume, em metros cúbicos. Isso se deve porque o sistema registra o momento exato da

Figura 22 – Formulário para atualização da informação de volume do pátio

Fonte: Autor

entrada da informação. Assim, por exemplo, se o registro da varredura ocorre pelo formulário, será interpretado pelo sistema que aquela varredura aconteceu naquele mesmo dia.

Isso se deve ao fato deste formulário de volume ter sido projetado para ser uma ferramenta de auxílio na adição da informação de volume referência caso ocorra duas situações: (i) aconteça um problema de conexão do sistema na realização de *upload* dos dados do drone para o banco de dados; (ii) ocorra, por ventura, um problema com o sistema que o impossibilite de levantar voo e adquirir dados, e, então, seja necessário contratar serviços terceirizados para o levantamento da informação de volume.

Na primeira opção, os dados de volume poderão ser levantados através do software de cálculo de volume e segmentação. Já no segundo caso, a informação será extraída do relatório da empresa contratada.

Portanto, este formulário foi projetado para apenas auxiliar em casos excepcionais, não sendo usado de modo constante, pensado para atuar somente em situações adversas a íntegra funcionalidade do sistema desenvolvido.

4.2.2.4 *Ensaio de Densidade*

Esta página traz o formulário para inserção dos dados de densidade no sistema. Escolheu-se o nome "Ensaio de Densidade" devido ao fato que as informações de densidade de cada pilha são resultados de um ensaio de medição de densidade comentado na Subseção 2.2.3, que discorre sobre a técnica de densimetria. Geralmente, a dimensão utilizada de densidade é

de grama por centímetro cúbico (g/cm^3), por isso ao submeter o formulário, essa informação é convertida pela ISAA para tonelada por metro cúbico (ton/m^3) através da multiplicação do valor do formulário pelo fator de conversão igual a 1,10231. Essa transformação da dimensão da densidade se deve ao fato que as informações armazenadas no banco de dados estão todas em toneladas, por isso, para manipulação dos dados na API é importante que essa informação seja armazenada na dimensão especificada.

Figura 23 – Formulário para atualização da densidade das pilhas do Pátio

Fonte: Autor

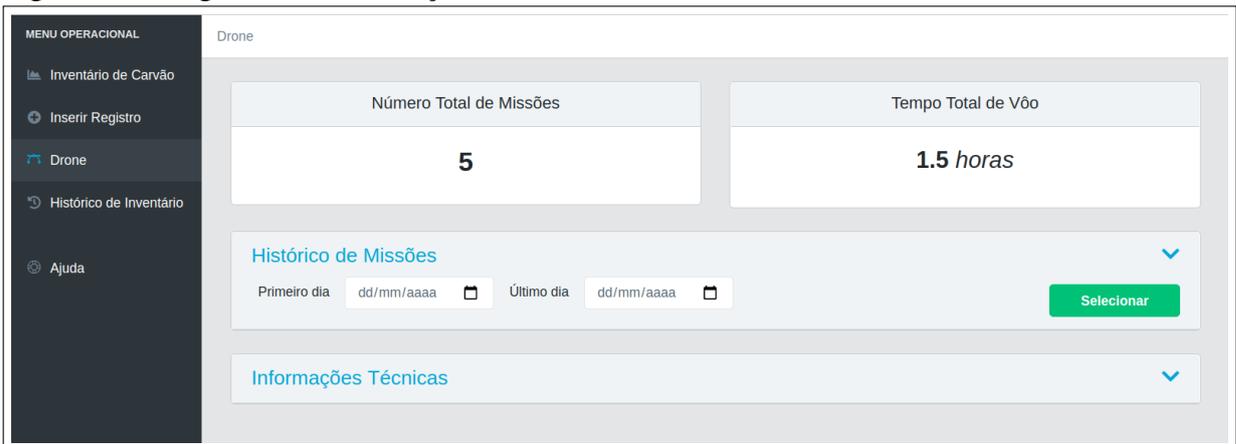
Assim como a página "Varredura Aérea", a de "Ensaio de Densidade" só possui os campos para inserção dos valores de densidade de cada pilha. E a data correspondente a atualização é conforme a data de submissão de registro na plataforma.

O preenchimento dos formulários deverão obedecer os procedimentos e regras da MACE, disponível no Capítulo 5, com o intuito de garantir a melhor precisão dos dados de inventário.

4.2.3 Drone e Missões

A página intitulada de "Drone" foi projetada para conter as informações do sistema do VANT de levantamento LiDAR. Como é possível observar pela Figura 24, a página dispõe de 4 fontes importantes de informação do sistema do drone, e elas são: (i) o número total de missões, (ii) o tempo total de voo do VANT, (iii) o histórico de missões, e (iv) as informações técnicas resumidas do VANT.

Figura 24 – Página com informações sobre o Drone e Missões realizadas



Fonte: Autor

Primeiro, o número total de missões pode indicar a frequência de uso do sistema. Já a segunda informação é importantíssima para que seja possível relacionar a quantidade de horas totais do VANT com a quantidade de horas máxima recomendada pelo fabricante.

A terceira fonte de informação do sistema se refere a uma tabela para visualização do histórico de missões do sistema. Conforme Figura 25, a tabela dispõe das seguintes informações:

- **ID do Voo:** é a identidade da missão e seu valor está relacionado com um número gerado pelo banco de dados para a realização do registro de referência.
- **Dia e Hora:** é a data de realização da missão, correspondendo ao momento de inicialização da missão de levantamento de volume.
- **Estado:** indica se a missão foi concluída ou abortada. Há situações onde o operador pode interromper o levantamento por alguma razão. Por isso, se a missão tiver sido inicializada e depois abortada, o tempo de voo é contabilizado para o monitoramento do tempo total dos motores do VANT.
- **Operou:** indica quem realizou ou foi responsável pela operação do VANT no levantamento de volume.
- **Editou:** indica quem editou os dados de levantamento da missão, realizando a segmentação ou a rejeição de algum dado coletado.
- **Tipo:** corresponde ao tipo logístico da missão. Existem 7 tipos: 1, 2, 3, 12, 13, 23, 123. Cada dígito é relacionado a uma pilha de carvão do pátio. Por exemplo, o tipo 123 indica que a missão realizada varreu as pilhas 1, 2 e 3 do pátio, já a missão de tipo 13 indica que a missão varreu as pilhas 1 e 3 do pátio.
- **Vel. Vento:** indica a velocidade do vento no momento de início da missão de

varredura. O monitoramento dessa velocidade na tabela é importante porque indica se o voo foi realizado em velocidade de vento inapropriada, conforme orientação do fabricante, ou em boas condições de voo.

- **Precipitação:** indica se no momento de inicio da missão havia alguma precipitação.
- **Δ Bateria (%):** corresponde a variação da porcentagem da bateria durante a missão. Esse indicador pode ser utilizado para detectar a degradação da bateria.
- **Duração:** indica o tempo total de voo, sendo uma informação importante para analisar se houve alguma irregularidade com o voo durante a execução da missão.
- **PCD:** é um botão que direciona para uma página de visualização das nuvem de pontos coletadas no pátio.

Figura 25 – Tabela com Histórico de Missões com filtro de data

Histórico de Missões											
Primeiro dia	01/11/2020	Último dia	04/12/2020								Selecionar
ID do Voo	Dia e Hora	Estado	Operou	Editou	Tipo	Vel. Vento	Precipitação	Δ Bateria (%)	Duração	PCD	
1	18/10/2020 às 00:00	Concluída	Italo Rosse	System	123	10	0	20	0.1	Ver	
2	19/10/2020 às 00:00	Abortada	System	Italo Rosse	12	10	0	20	0.2		
3	20/10/2020 às 00:00	Concluída	Italo Rosse	System	1	10	0	20	0.3	Ver	
4	21/10/2020 às 00:00	Abortada	System	Italo Rosse	13	10	0	20	0.4		
5	22/10/2020 às 00:00	Concluída	Italo Rosse	System	123	10	0	20	0.5	Ver	

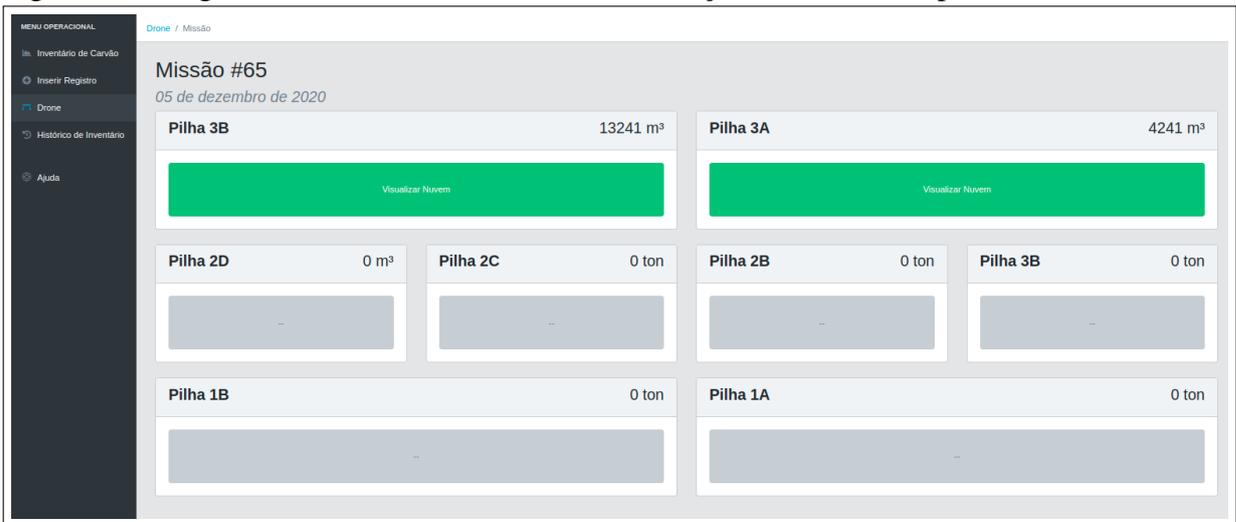
5 linhas |< < 1-5 de 5 > >|

Fonte: Autor

Tendo em vista o conteúdo da tabela do histórico de missões, é interessante ressaltar que a página de visualização da nuvem de pontos é uma ferramenta de verificação do trabalho realizado em campo.

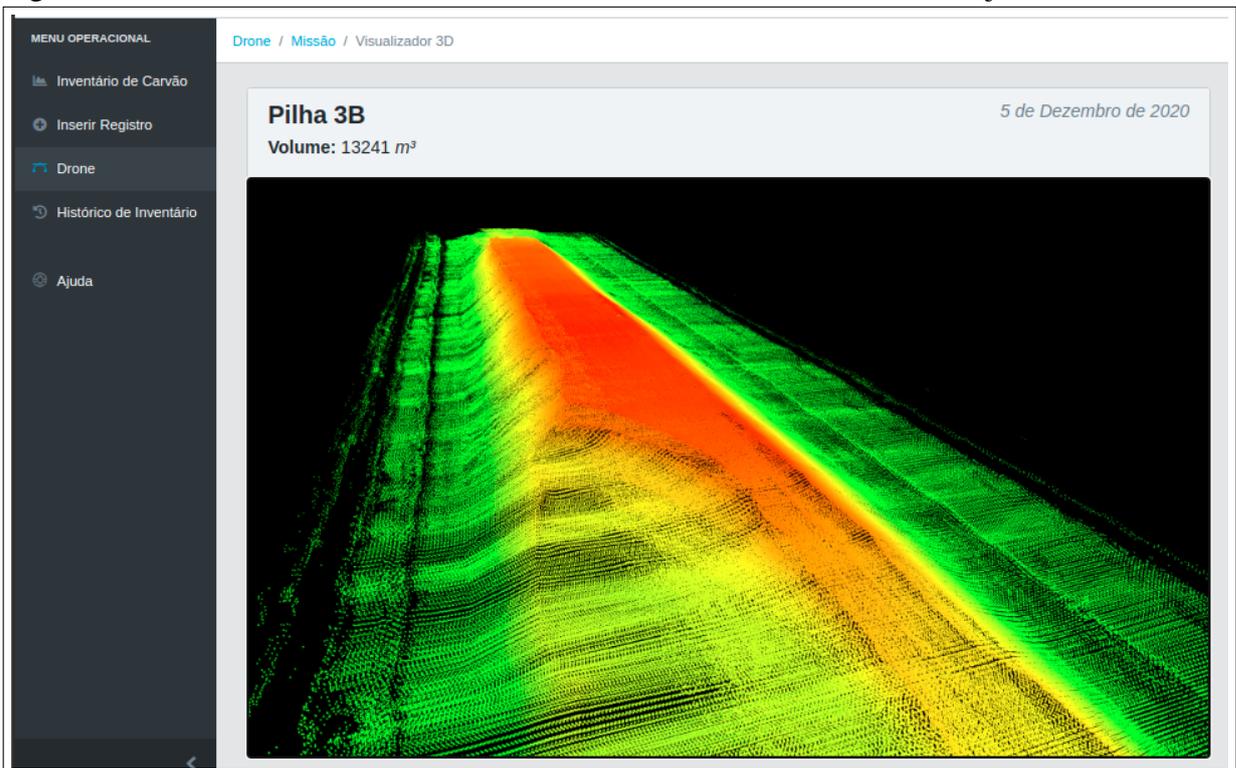
Por último, tem-se uma seção da página destinada as especificações técnicas do VANT Industrial com as recomendações do fabricante. A adição dessa informação na aplicação tem por objetivo facilitar o acesso do usuário as especificações da aeronave, possibilitando a conferencia dos dados e pesquisas rápidas sobre o equipamento que possui pouca informação na internet e nenhum manual próprio do fabricante.

Figura 26 – Página da Missão com o Resumo e Indicação das Pilhas Disponíveis



Fonte: Autor

Figura 27 – Visualizador 3D de Nuvem de Pontos Desenvolvido com Three.js



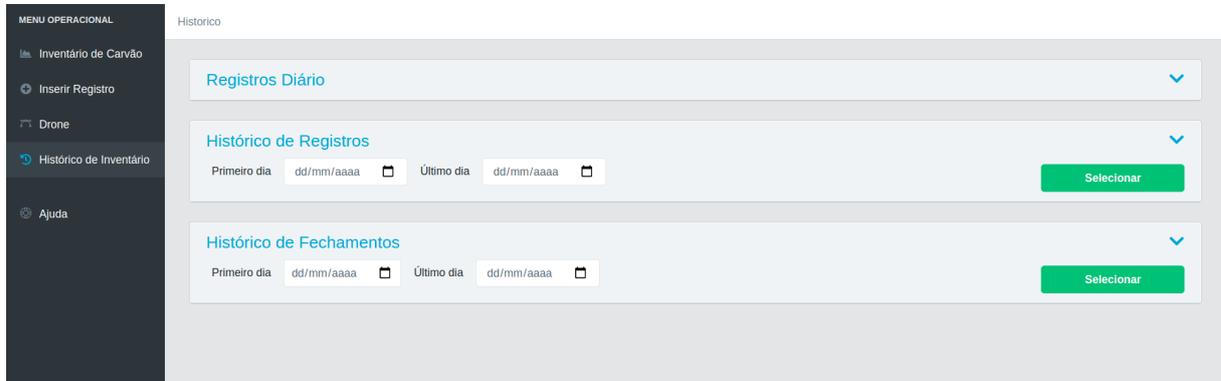
Fonte: Autor

4.2.4 Histórico de Inventário

O histórico de inventário é a página que possibilita que o usuário visualize as suas interações com sistema. Assim, conforme a Figura 28, desenvolveu-se três tabelas com informações do sistema: (i) registros recentes, (ii) histórico de registros e (iii) histórico de fechamento. Cada tabela foi desenvolvida com um objetivo específico para auxiliar o usuário na

gestão do pátio de carvão.

Figura 28 – Página do Histórico de Inventário



Fonte: Autor

Apesar das tabelas possuírem objetivos distintos, existe uma repetição de colunas de contextualização da informação. Dessa maneira, com o objetivo de sintetizar a informação, resume-se as colunas em repetição a seguir:

- **ID:** é o número de identidade do registro no banco de dados e está associado a ordem cronológica da inserção de dados no sistema. Essa forma de associar à ordem cronológica é importante para documentação dos erros de inserção de informação no sistema.
- **Dia e Hora:** é a data do registro no banco de dados. Aqui, é interessante salientar que os registros de "referência", ou de volume, são normalmente provenientes do início da missão de levantamento com o VANT, mas há possibilidade de ser proveniente da submissão de informação via formulário, conforme Seção 4.2.2.3.
- **Registrou:** informa quem inseriu os dados no sistema. Nota-se que existem
- **Editou:** indica quem editou os dados de levantamento da missão, realizando a segmentação ou a rejeição de algum dado coletado.
- **Tipo:** corresponde .
- **Pilhas de Minério:** corresponde as colunas 1A, 1B, 2A, 2B, 2C, 2D, 3A e 3B que representam a nomeação das pilhas do pátio de carvão. Com base no tipo do registro, é possível distinguir o sentido do número presente nesta coluna. Por exemplo, no caso da atualização de densidade, é esperado que os valores oscilem próximo de 1, correspondendo a densidade do carvão. Já das demais, espera-se valores mais altos devido o fato das movimentações de carvão envolverem valores elevados.

Como é visto nas Figuras 29, 31 e 33, as colunas citadas são comuns à pelo menos duas tabelas e possuem o mesmo objetivo. As demais colunas foram detalhas na seção de suas respectivas tabelas.

Além disso, atenta-se para o fato que em todas as tabelas, os registros podem ser expandidos. Utiliza-se o mesmo painel de visualização das pilhas do pátio, como na Figura 18, e o respectivo valor de massa de carvão correspondente a pilha. Essa expansão dos registros podem ser vista nas Figuras 30, 32 e 34 a seguir.

4.2.4.1 Registros Recentes

A tabela de registros recentes informa quais foram os registros inseridos recentemente na plataforma dentro do prazo de um dia. Dessa maneira, fica mais fácil de fazer um controle das informações que são inseridas no sistema de gestão de inventário.

Figura 29 – Tabela de Registros Recentes

Registros Recentes													
Actions	ID	Dia e Hora	Tipo	Registrou	Editou	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
>  	80	04/12/2020 às 15:00	SAIDA	Italo Rosse	--	100	100	100	100	100	100	100	100
>  	79	04/12/2020 às 04:51	REFERENCIA	Italo Rosse	--	97842	82639	7328	9012	180357	20782	16287	17222
>  	78	04/12/2020 às 04:50	DENSIDADE	Italo Rosse	--	1	1	1	1	1	1	1	1
>  	77	04/12/2020 às 04:39	ENTRADA	Italo Rosse	--	0	0	0	3652	741	963	852	1245
>  	0	04/12/2020 às 12:13	FECHAMENTO	System	--	97742	82539	7228	12564	180998	21645	17039	18367

5 linhas | < < 1-5 de 5 > >

Fonte: Autor

Como pode ser visto pela Figura 29, a tabela contém as seguintes colunas:

- **Actions:** são ícones de ação que possibilitam que o usuário possa editar e deletar aquele registro. O primeiro ícone é o de edição, ilustrado pelo lápis. Quando clicado, torna os campos de pilha daquele registro editável, possibilitando a correção ou ajuste da informação no banco de dados da plataforma. O outro ícone é o da exclusão, representado pela lixeira. Quando clicado, ele excluir aquele registro do banco de dados do sistema.

Diferente das demais tabelas, os registros recentes possuem ações de edição e exclusão de registros do banco de dados. Os registros passam apenas um dia disponíveis

para edição. Após o fechamento do dia, aquele registro não pode mais ser alterado. Além disso, é interessante observar que a tabela de registros recentes também apresenta o registro de fechamento do dia anterior que também é disponibilizado para alteração.

Figura 30 – Registro Recente disposto em *Layout* do Pátio de Carvão

Actions	ID	Dia e Hora	Tipo	Resgistrou	Editou	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
> ✎ 🗑	80	04/12/2020 às 15:00	SAIDA	Italo Rosse	--	100	100	100	100	100	100	100	100
∨ ✎ 🗑	79	04/12/2020 às 04:51	REFERENCIA	Italo Rosse	--	97842	82639	7328	9012	180357	20782	16287	17222

Legenda das Cores

Eneva EDP

3B 17222 ton				3A 16287 ton			
2D 20782 ton		2C 180357 ton		2B 9012 ton		2A 7328 ton	
1B 82639 ton				1A 97842 ton			

Fonte: Autor

A Figura 30 refere-se à expansão do registro de referência de volume, que mostra a quantidade de carvão em toneladas em cada pilha, conforme sua disposição no pátio. Esse valor em toneladas é resultado do valor de volume inserido no banco de dados multiplicado pelo último registro de densidade disponível no banco de dados.

4.2.4.2 Histórico de Registros

O histórico de registro é uma tabela que dispõe de todos os registros consolidados pelo sistema. Na prática, isso quer dizer que todos os registros que passaram do prazo do fechamento diário são catalogados e podem ser acessados através da tabela.

Diferente da tabela de registros recentes, o histórico de registros tem uma coluna chamada "Logística" e as colunas referentes as pilhas de minério são omitidas para facilitar a leitura das informações.

- **Logística:** é uma categoria que descreve como aquela operação aconteceu. Existem duas possibilidades. Se o registro for do tipo "Entrada", qual representa um registro diferencial, a logística pode ter ocorrido através do "TCLD" ou

Figura 31 – Tabela com Histórico de Registros com filtro de data

Histórico de Registros						
Primeiro dia	01/11/2020	Último dia	04/12/2020	Selecionar		
ID	Dia e Hora	Tipo	Resgistrou	Editou	Logística	
>	76	02/12/2020 às 15:25	ENTRADA	Italo Rosse	--	TCLD
>	75	02/12/2020 às 14:52	SAÍDA	Italo Rosse	--	TCLD
>	74	11/11/2020 às 20:57	SAÍDA	Italo Rosse	--	TCLD

5 linhas | < < 1-3 de 3 > >|

Fonte: Autor

do "TMUT". Entretanto, se o tipo de registro for de "Referência", e até de "Densidade", a logística é representada pelos códigos das pilhas mensuradas, como o exemplo do código de logística comentado na Seção 4.2.3 e Figura 25.

Figura 32 – Registro do Histórico disposto em *Layout* do Pátio de Carvão

ID	Dia e Hora	Tipo	Resgistrou	Editou	Logística	
76	02/12/2020 às 15:25	ENTRADA	Italo Rosse	--	TCLD	

Legenda das Cores

Eneva EDP

3B 123000 ton		3A 0 ton	
2D 5230 ton	2C 0 ton	2B 0 ton	2A 0 ton
1B 0 ton		1A 0 ton	

Fonte: Autor

4.2.4.3 Histórico de Fechamento

O histórico de fechamento é uma tabela que apresenta as estimações de estado do pátio de carvão no dia de sua consolidação. A Figura 33 mostra como os dados são apresentados. Como é perceptível, não se tem uma coluna de quem registrou porque o sistema é que realiza o fechamento de modo automático no final de cada dia, por isso, demonstra-se apenas quem realizou a edição do registro de fechamento.

Figura 33 – Tabela com Histórico de Fechamento com filtro de Data

Histórico de Fechamentos											
ID ↓	Dia e Hora	Editou	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B	
>	90	03/12/2020 às 03:00	--	100000	74368	6480	9332	193601	23169	14249	18093
>	89	02/12/2020 às 03:00	--	100000	74368	6480	9332	193601	23169	14249	18093
>	88	01/12/2020 às 03:00	--	100000	74368	6480	9332	193601	23169	14249	18093
>	87	15/11/2020 às 03:00	--	100000	74368	6480	9332	193601	23169	14249	18093
>	86	14/11/2020 às 03:00	--	100000	74368	6480	9332	193601	23169	14249	18093

Fonte: Autor

Figura 34 – Registro de Fechamento disposto em *Layout* do Pátio de Carvão



Fonte: Autor

Da mesma forma como as demais tabelas, as informações do registro de fechamento podem ser visualizadas através do painel de layout do pátio de carvão.

5 MACE: METOLOGIA DE ACOMPANHAMENTO CONTÍNUO DE ESTOQUE

A MACE é uma metodologia inspirada no conceito de Revisão Contínua de estoque de um único item (ROSA *et al.*, 2010; ADITYA *et al.*, 2019; EFFENDI; RUSDIANSYAH, 2020). Tem como proposta o acompanhamento contínuo dos níveis de minério estocados em pátios de carvão mineral com base em variáveis de referência. Esse processo é possível através da coleta de registros de entrada, saída e de referência de estado de carvão mineral presentes em pilhas de armazenamento, utilizando-se instrumentações de diferentes naturezas para retornar a informação mais próxima do estoque físico. Através dessa abordagem, o estoque contábil se torna mais confiável para a realização de revisões contínuas de estoque de carvão mineral.

Visando a implementação dessa metodologia, desenvolveu-se algoritmos na plataforma digital ISAA que visem replicar as regras estabelecidas com o intuito de formar uma maneira prática de fundir tanto os dados de sensores mais precisos com os menos precisos quanto os dados manuais inseridos pelos usuários da plataforma. Assim, torna-se possível gerar estimativas contínuas para acompanhamento do estoque da usina. Dessa maneira, o erro cumulativo pode ser reduzido para taxas mais próximas de zero, gerando uma melhor previsibilidade do estoque físico para os gestores da empresa consigam aplicar técnicas eficientes de gestão de estoque.

Para que a metodologia funcione, é necessário que os usuários alimentem a plataforma prioritariamente com registros referenciais e que sigam alguns procedimentos operacionais para não gerar confusão ao sistema. A constante alimentação correta da plataforma será essencial para munir os gestores da operação com melhores informações sobre a situação real do pátio de carvão para tomada de decisões estratégicas.

5.1 Considerações Iniciais

Esta seção tem o objetivo de inicializar alguns conceitos que serão primordiais na compreensão da metodologia e a sua relação com a plataforma ISAA.

5.1.1 Registros Diferenciais ($R\Delta e_k$ e $R\Delta s_k$)

Os registros diferenciais são informações utilizadas para estimação de estoque que se somam ou subtraem seus valores do estado de referência. Os que se somam aos estados são resultados do descarregamento de carvão do porto e são chamados de registro diferencial de

entrada, já os que se subtraem são resultado do consumo de carvão ou abastecimento dos silos das unidades geradoras da usina e são chamados de registros diferenciais de saída.

Os valores dos registros diferenciais de entrada podem ser provenientes tanto da arqueação, balança rodoviária do porto e do cálculo manual de duas volumetrias com suas respectivas densidades. No caso do registro diferencial de saída, é possível encontrar os valores também através do cálculo comparativo entre as varreduras e respectivas densidades dos volumes levantados, mas também pode ser utilizado os valores resultantes das medições da balança dinâmica dos alimentadores das unidades de geração.

Dessa forma, quando necessário, esses registros podem ser inseridos através de formulário da seção “Inserir Registro” no menu lateral da ISAA. Com esses dados é possível gerar estimações contínuas para acompanhamento do estoque.

5.1.2 Registros Referenciais (RRv_k e RRd_k)

Existem dois tipos de registros referenciais: o de volume e o de densidade.

O registro referencial de volume consiste no cadastro de estoque realizado com informações de volume das pilhas de carvão do pátio de estocagem. Neste registro, contém os metros cúbicos das pilhas analisadas e o dia e hora da realização do levantamento de volume aéreo, conforme comentado na Seção 2.2 O registro de volume poderá ser inserido no sistema através da plataforma ISAA, conforme Seção 4.2.2.3, ou poderá ser feita através do *Software Desktop* responsável por processar os dados volumétricos do levantamento das pilhas do pátio, realizado pelo equipamento de varredura LiDAR, conforme Seção ??.

O registro referencial de densidade consiste no cadastramento do valor de densidade de cada pilha de minério do pátio de estocagem. Essa informação poderá ser inserida no sistema através da plataforma ISAA, que facilitará a visualização dos dados.

São dados provenientes de métodos de medição de referência, como a varredura laser, a fotogrametria e os ensaios de densidade realizados em cada pilha de carvão. Esses dados serão utilizados como base de cálculo das estimações de massa de carvão em cada pilha do pátio, proporcionando a redução do erro cumulativo do estoque.

5.1.3 Estado de Diferença

Só há um estado de diferença para ambos registros diferenciais de entrada e saída. Isso se deve ao fato do estado de diferença ser utilizado como uma variável de suporte no cálculo

de massa do estoque das pilhas de carvão. Para alterar o seu valor, é necessário adicionar um registro diferencial de entrada ou saída de uma determinada pilha, como mostrado na Seção 4.2.2.1 e 4.2.2.2 na plataforma ISAA. Essa inserção do registro pelo usuário atualizará o estado de diferença intermediário ($E\Delta_k$). Algebricamente, as equações 5.1 e 5.2 regem essas atualizações, a última acontece no fechamento do dia.

$$E\Delta_k = E\Delta_{k-1} + \sum R\Delta_{e_k} - \sum R\Delta_{s_k} \quad (5.1)$$

$$E\Delta_{k+1} := E\Delta_k \quad (5.2)$$

Esse estado intermediário de diferença se soma ao longo de cada dia ao estado intermediário de massa, conforme equação 5.1.

A Tabela 1 resume a relação dos tipos de registros com as categorias do estado diferencial.

Tabela 1 – Estados Diferenciais

Tipos de Registro	CATEGORIAS	
	Consolidado	Intermediário
Entrada Saída	$E\Delta_{k-1}$ ou $E\Delta_{k+1}$	$E\Delta_k$

Fonte: o autor.

A tabela abaixo foi desenvolvida para a melhor compreensão do que há internamente dentro do estado de diferença e como se relaciona com as pilhas.

Tabela 2 – Estado Intermediário de Diferença ($E\Delta_k$)

Descrição	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
$E\Delta_{k-1}$	$E\Delta_{1A_{k-1}}$	$E\Delta_{1B_{k-1}}$	$E\Delta_{2A_{k-1}}$	$E\Delta_{2B_{k-1}}$	$E\Delta_{2C_{k-1}}$	$E\Delta_{2D_{k-1}}$	$E\Delta_{3A_{k-1}}$	$E\Delta_{3B_{k-1}}$
$R\Delta_e$	$\sum R\Delta_{e_{1A}}$	$\sum R\Delta_{e_{1B}}$	$\sum R\Delta_{e_{2A}}$	$\sum R\Delta_{e_{2B}}$	$\sum R\Delta_{e_{2C}}$	$\sum R\Delta_{e_{2D}}$	$\sum R\Delta_{e_{3A}}$	$\sum R\Delta_{e_{3B}}$
$R\Delta_s$	$\sum R\Delta_{s_{1A}}$	$\sum R\Delta_{s_{1B}}$	$\sum R\Delta_{s_{2A}}$	$\sum R\Delta_{s_{2B}}$	$\sum R\Delta_{s_{2C}}$	$\sum R\Delta_{s_{2D}}$	$\sum R\Delta_{s_{3A}}$	$\sum R\Delta_{s_{3B}}$
$E\Delta_k$	$E\Delta_{1A_k}$	$E\Delta_{1B_k}$	$E\Delta_{2A_k}$	$E\Delta_{2B_k}$	$E\Delta_{2C_k}$	$E\Delta_{2D_k}$	$E\Delta_{3A_k}$	$E\Delta_{3B_k}$

Fonte: o autor.

Da Tabela 2 por ser extraído os elementos para composição da equação 5.3. Essa equação exemplifica o valor de massa presente na pilha 1A dentro do estado de diferença intermediário após a inserção de vários registro de entrada e de saída. A mesma equação se aplica as demais pilhas.

$$E\Delta_{1A_k} = E\Delta_{1A_{k-1}} + \sum R\Delta_{e_{1A}} - \sum R\Delta_{s_{1A}} \quad (5.3)$$

5.1.4 Estados de Volume e Densidade

Os estados de volume e densidade correspondem aos valores mais atuais das variáveis características de cada pilha de carvão do pátio. Os valores desses estados são dados primários que fazem parte do cálculo do estado de massa.

Existem duas categorias de estados: os consolidados (E_{d0}, E_{v0} e E_{m0}) ou os intermediários (E_{d1}, E_{v1} e E_{m1}). Os estados consolidados são aqueles que foram registrados no banco de dados no ato do fechamento do dia. Já os estados intermediários são temporários, tendo ciclo de vida de um dia, que intermedeiam a atualização para estados consolidados. Isso quer dizer que todos os dias são criados estados intermediários que aguardam o cadastramento de suas respectivas referências. Caso não haja nenhum registro de referência, então eles repetem o estado consolidado.

Com objetivo de organizar melhor o trabalho, nesta seção será aprofundado somente sobre os estados de referências primários, ou seja, o estado de volume e densidade. A próxima seção, comentará mais sobre os estados de massa. Entretanto, como o estado de massa é similar aos de densidade e volume adicionou-se à Tabela 3 para se montar um resumo desses estados com seus tipos e categorias tão bem como sua representação simbólica.

Tabela 3 – Tipos de Estados e suas Categorias

Tipos de Registro	CATEGORIAS	
	Consolidado	Intermediário
Volume	E_{v0}	E_{v1}
Densidade	E_{d0}	E_{d1}
Massa	E_{m0}	E_{m1}

Fonte: o autor.

$$E_{v1} = V_a \cdot \widehat{i}_{1A} + V_b \cdot \widehat{i}_{1B} + V_{aa} \cdot \widehat{i}_{2A} + V_{bb} \cdot \widehat{i}_{2B} + V_{cc} \cdot \widehat{i}_{2C} + V_{dd} \cdot \widehat{i}_{2D} + V_{aaa} \cdot \widehat{i}_{3A} + V_{bbb} \cdot \widehat{i}_{3B} \quad (5.4)$$

$$E_{d1} = D_a \cdot \widehat{i}_{1A} + D_b \cdot \widehat{i}_{1B} + D_{aa} \cdot \widehat{i}_{2A} + D_{bb} \cdot \widehat{i}_{2B} + D_{cc} \cdot \widehat{i}_{2C} + D_{dd} \cdot \widehat{i}_{2D} + D_{aaa} \cdot \widehat{i}_{3A} + D_{bbb} \cdot \widehat{i}_{3B} \quad (5.5)$$

No ato do fechamento do dia, os estados intermediários se tornam consolidados, dessa maneira, acontece o cálculo representado pelas equações 5.6, 5.7 e 5.10.

$$E_{v0_{k+1}} := E_{v1_k} \quad (5.6)$$

$$E_{d0_{k+1}} := E_{d1_k} \quad (5.7)$$

$$(5.8)$$

5.1.5 Estados de Massa

O estado de massa pode também ser chamado de estoque contábil. Como dito na seção anterior, é um estado qual o seu valor depende dos demais. Por isso, destina-se uma seção exclusiva para ele.

Dependendo da atividade que ocorrer no dia, pode-se olhar para a mesma equação define o estado de massa intermediário com elementos diferentes, mas a sua forma generalizada corresponde a equação 5.9. Ao final do dia, assim como os demais estados, o estado intermediário de massa se torna consolidado conforme 5.10.

Numericamente, cada estado de densidade e volume representa um vetor no qual seus eixos são ortogonais, como nas equações 5.4 e 5.5, sendo seus eixos respectivamente as pilhas de carvão do pátio. O produto escalar desses dois vetores, como no caso da 5.9, representa a multiplicação dos valores internos referentes as pilhas de carvão.

$$E_{m1_k} := E_{v1_k} \cdot E_{d1_k} + E\Delta_k \quad (5.9)$$

$$E_{m0_{k+1}} := E_{m1_k} \quad (5.10)$$

Para entender melhor o que isso quer dizer, observe a tabela 4, ela relaciona em colunas os valores referente a cada pilha dentro dos estados intermediários.

Tabela 4 – Atualização do Estado Intermediário de Massa

Descrição	ID	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
E_{v1_k}	1	V_{a_k}	V_{b_k}	V_{aa_k}	V_{bb_k}	V_{cc_k}	V_{dd_k}	V_{aaa_k}	V_{bbb_k}
E_{d1_k}	1	D_{a_k}	D_{b_k}	D_{aa_k}	D_{bb_k}	D_{cc_k}	D_{dd_k}	D_{aaa_k}	D_{bbb_k}
$E\Delta_k$	1	$E\Delta_{1A_k}$	$E\Delta_{1B_k}$	$E\Delta_{2A_k}$	$E\Delta_{2B_k}$	$E\Delta_{2C_k}$	$E\Delta_{2D_k}$	$E\Delta_{3A_k}$	$E\Delta_{3B_k}$
E_{m1_k}	1	M_{1A_k}	M_{1B_k}	M_{2A_k}	M_{2B_k}	M_{2C_k}	M_{2D_k}	M_{3A_k}	M_{3B_k}

Fonte: o autor.

Através da Tabela 4, é possível perceber a lógica da equação 5.9, pois dela pode-se derivar a equação 5.11, que representa o cálculo da massa da pilha 1A, podendo replicar a mesma

lógica para as demais pilhas.

$$M_{1A_k} = V_{a_k} \cdot D_{a_k} + E\Delta_{1A_k} \quad (5.11)$$

Onde:

E_{m1_k} estado de massa intermediário;

E_{d1_k} estado de densidade intermediário;

E_{v1_k} estado de volume intermediário;

M_{1A_k} massa da pilha 1A;

D_{a_k} densidade da pilha 1A;

V_{a_k} volume da pilha 1A;

$E\Delta_{1A_k}$ estado de diferença da pilha 1A;

5.2 Regras da MACE

Com o objetivo de preservar a integridade das informações processadas no banco de dados, é importante que um conjunto de regras sejam estabelecidas e compreendida pelo usuário.

5.2.1 Fechamento Diário

Ao final de todo dia, o sistema consolida todos os registros inseridos no sistema não possibilitando mais alterações, ou seja, realizando um fechamento do dia. Após esse fechamento, as informações armazenadas são acessível através do Histórico de Fechamento na plataforma ISAA.

Caso o usuário desista de algum registro inserido no sistema, será possível deletar ou editar no mesmo dia através da tabela de registros recentes na página de "Histórico de Inventário", conforme Seção 4.2.4.1.

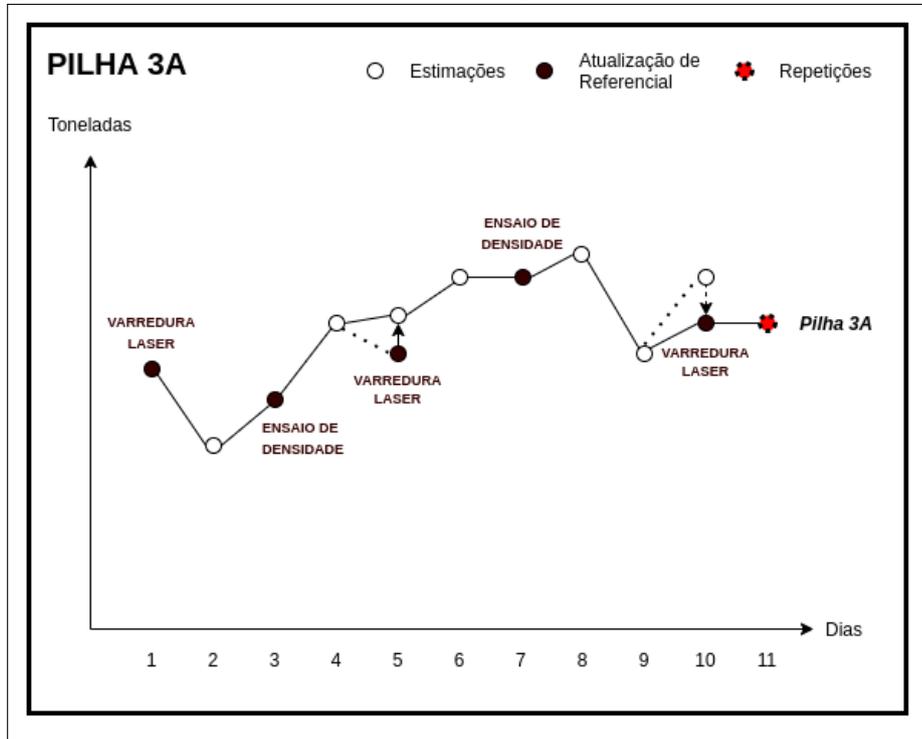
Essa regra é estabelecida com o intuito de assegurar que as informações inseridas não poderão ser manipuladas em um tempo futuro, por isso, todos os registros e atividades realizados dia-a-dia serão consolidados ao final de cada dia.

5.2.2 Estados Prioritários

Quando há a inserção de registro de referência de uma pilha que possui estado de diferença distinto de zero antes do fechamento, o estado de diferença daquela pilha específica é

zerado. Isso acontece porque o estado de referência possui prioridade na caracterização de massa das pilhas.

Figura 35 – Gráfico Genérico de Atualização de Estado de Massa da Pilha 3A



Fonte: Autor

Pelo exemplo da Figura 35, tem-se o acompanhamento do estado de massa da pilha 3A. Observa-se que na legenda possui uma bolinha branca com borda preta, uma bolinha marrom com borda preta e uma bolinha vermelha com borda preta pontilhada. A primeira é referente as estimações com a inserção de registros diferenciais que podem utilizar métodos precisos e imprecisos. A segunda bola é da atualização de referencial, isso quer dizer que um registro de referência, como o volume e densidade foram inseridos, e, por fim, a repetição que é quando nada acontece.

Verifica-se na figura que na transição do dia 4 ao 5 e do dia 9 ao 10 existem bolinhas que se conectam por linha pontilhada e por linha sólida, sendo que ainda há uma indicação de seta entre duas dessas bolas. Essa linha pontilhada e a bolinha com uma seta expressa uma conexão temporária de transição de estado intermediário.

Por exemplo, no caso do dia 4 ao dia 5, tem-se uma bolinha que indica a estimacão gerada por um estado diferencial se conectando a uma bolinha de atualização de referência. Essa bolinha de referência de volume aponta para uma bolinha branca de estimacão. Isso quer dizer que no dia 5 foi inserido um registro de volume e posteriormente foi adicionado carvão a pilha

através do registro diferencial. Dessa maneira, o valor diferencial de carvão se somou ao valor de referência fazendo a curva ser elevada formando uma conexão sólida de bolinha branca com bolinha branca.

Já no caso do dia 10 é diferente, pois inicialmente inseriu-se no sistema um registro diferencial formando uma conexão pontilhada de bolinha branca para bolinha branca, e depois foi inserido um registro de volume que atualizou o estado de massa da pilha 3A, formando uma conexão permanente entre a bolinha branca com a bolinha marrom. Neste último caso, não houve soma entre os registros, pois a atualização do estado de referência zerou o estado de diferença e modificou o estado de massa de carvão da pilha 3A.

Esse exemplo é importante para mostra como os registros e estados atuam em preferência ao destaque dos registros referenciais.

5.2.3 Atualização por Registros Referenciais

Como visto na Seção 5.1.2, existem dois tipos de registros de referência. Nesta seção será demonstrado a atualização dos estados através da inserção dos registros referenciais, sendo exemplificado posteriormente a relação dos registros com os estados ao longo do tempo.

1. Inserção do Registro (Referencial) de Densidade (RR_d)

Utiliza-se a plataforma ISAA para inserção de registro de densidade, conforme Seção 4.2.2.4 que comenta sobre o formulário de densidade.

Neste passo, supõe-se a inserção de um registro de densidade das pilhas de minério 2D, 3A e 3B, sendo seus respectivos valores 1.05, 1.21 e 0.98 ton/m^3 . Para exemplificação, considera-se que os registros de densidade já tenham sido convertidos de g/cm^3 para ton/m^3 , conforme Seção 4.2.2.4.

Tabela 5 – Atualização de Estado Referencia de Densidade (em ton/m^3)

Descrição	ID	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
E_{d0_k}	0	1	1	1	1	1	1	1	1
RR_{d_k}	163	0	0	0	0	0	1,05	1,21	0,98
E_{d1_k}	1	1	1	1	1	1	1,05	1,21	0,98

Fonte: o autor.

A tabela 5 demonstra como a atualização do estado da densidade acontece no sistema. Tem-se inicialmente um estado de densidade consolidado do dia anterior (E_{d0_k}), representado

pela ID "0". Logo na linha abaixo, tem-se o registro de densidade (RR_{d_k}) inserido através do formulário na plataforma ISAA, indicado pelo ID hipotético "163". Ao ser recebido na REST API, o registro de ID "163" interage com E_{d0_k} , gerando o estado intermediário de densidade de ID "1" (E_{d1_k}). Esse novo estado é armazenado até o fechamento do dia, onde é definitivamente transformado e armazenado como estado consolidado, como mostrado pela equação 5.7.

Caso esse registro de densidade (RR_{d_k}) seja deletado, o estado intermediário de densidade (E_{d1_k}) recebe o valor do estado consolidado de densidade do dia anterior (E_{d0_k}).

2. Inserção de Registro (Referencial) de Volume

Como visto na seção 5.1.2, é possível que esse registro possa ser feito tanto pela ISAA quanto pelo software local instalado na estação de engenharia.

Neste passo, considera-se que houve um levantamento volumétrico nas pilhas 1B, 2A, 3A e 3B, sendo os seus resultados os respectivos valores de 50 mil, 10 mil, 10 mil e 10 mil m^3 .

Tabela 6 – Atualização de Estado Referencial de Volume (em m^3)

Descrição	ID	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
E_{v0_k}	0	10k	10k	20k	10k	10k	10k	10k	0
RR_{v_k}	168	0	50k	10k	0	0	0	30k	10k
E_{v1_k}	1	10k	50k	10k	10k	10k	10k	30k	10k

Fonte: o autor.

A tabela 6 demonstra como a atualização do estado da volume acontece no sistema. Tem-se inicialmente um estado de volume consolidado do dia anterior (E_{v0_k}), representado pela ID "0". Logo na linha abaixo, tem-se o registro de volume (RR_{v_k}) inserido através do formulário na plataforma ISAA, indicado pelo ID hipotético "168". Ao ser recebido na REST API, o registro de volume interage com E_{v0_k} , gerando o estado intermediário de densidade (E_{v1_k}) de ID "1". Esse estado intermediário é armazenado até o fechamento do dia, onde é definitivamente transformado e armazenado como estado consolidado, como mostrado pela equação 5.6.

Além disso, como pode ser percebido nas Tabelas 5 e 6, os pacotes de dados enviados pela ISAA para REST API contém zeros nas pilhas que o usuário não alteram o valor, dessa maneira a API entende que aqueles dados não precisam ser atualizados e muda somente o valor nas pilhas endereçadas.

Como comentado na seção 5.1.4, o estado de massa é definido de forma indireta

a partir dos estados intermediários de densidade e volume. Visionando uma simplificação dessas interações, desenhou-se a Tabela 7 que resume ao final do dia o resultado da atualização dos estados de referência considerando apenas a inserção de registros de referência. Para exemplificação, considera-se que os registros de densidade já tenham sido convertidos de g/cm^3 para ton/m^3 , conforme Seção 4.2.2.4.

Tabela 7 – Estados de Referência Após Inserção de Registros Referenciais

ESTADOS INTERMEDIÁRIOS							[PRÉ-REGISTROS]			
Descrição	ID	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B	Dimensão
$E_{v1_k} = E_{v0_k}$	1	10k	10k	20k	10k	10k	10k	10k	0	m^3
$E_{d1_k} = E_{d0_k}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	ton/m^3
$E_{m1_k} = E_{m0_k}$	1	10k	10k	20k	10k	10k	10k	10k	0	ton
ESTADOS INTERMEDIÁRIOS							[PÓS-REGISTRO DENSIDADE]			
Descrição	ID	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B	Dimensão
$E_{v1_k} = E_{v0_k}$	1	10k	10k	20k	10k	10k	10k	10k	0	m^3
E_{d1_k}	1	1	1	1	1	1	1,05	1,21	0,98	ton/m^3
E_{m1_k}	1	10k	10k	20k	10k	10k	10,5k	12,1K	0	ton
ESTADOS INTERMEDIÁRIOS CONSOLIDADOS							[PÓS-REGISTROS]			
Descrição	ID	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B	Dimensão
$E_{v0_{k+1}} = E_{v1_k}$	1	10k	50k	10k	10k	10k	10k	30k	10k	m^3
$E_{d0_{k+1}} = E_{d1_k}$	1	1	1	1	1	1	1,05	1,21	0,98	ton/m^3
$E_{m0_{k+1}} = E_{m1_k}$	1	10k	50k	10k	10k	10k	10,5k	36,3k	9,8k	ton

Fonte: o autor.

Ao analisar a Tabela 7, existem alguns problemas que podem impactar na estimação realística da massa de uma determinada pilha. Por isso, o usuário deve estar atento para entender se o registro inserido faz realmente sentido para sua aplicação.

Por exemplo, no caso da pilha 2D o usuário deve se atentar se há realmente a necessidade de se atualizar a densidade da pilha, pois após a inserção da densidade houve um aumento de 500 toneladas. Isso pode ser bom se a pilha não tiver sido mexida e o registro for de um resultado de ensaio de densidade com o intuito de realmente atualizar a densidade da pilha ensaiada, caso contrário está se gerando um erro de 500 toneladas na contabilidade do estoque.

No caso da pilha 3A, supõe-se que a pilha 3A já possuía 10 mil toneladas de densidade $1 ton/m^3$, dessa maneira a atualização da densidade causou uma distorção do valor

real de material naquela pilha, adicionando 2100 toneladas a mais no saldo daquela pilha. O resultado final dessa atualização gerou um erro de 5,78% ao estado consolidado de massa da pilha 3A, se realmente houver uma diferença de densidade.

Já no caso da pilha 3B, tem-se a operação de empilha em espaço vazio. Esta é um dos momentos ideais para a realização da atualização de estado através dos registros de referência.

No caso da pilha 2A, houve provavelmente uma operação de retoma de carvão da pilha com densidade já conhecida, assim é possível determinar de fato o quanto de carvão existe naquela pilha e é recomendável a atualização através do registro referencial.

Na pilha 1B, tem-se um descarregamento de carvão sobre uma quantidade de material já existente. Nesse caso, se o carvão possuir a mesma característica física de densidade, a atualização via registro referencial é aconselhada, mas caso não seja, é importante avaliar se não é mais interessante contabilizar por registro diferencial, até que se obtenha o resultado do ensaio de densidade.

Uma outra forma de exemplificar essa interação é através do acompanhamento de como os registros impactam nos estados de referência. Dessa maneira, criou-se um plano de inserção de referências durante o período de 6 dias e que pode ser visto na Figura 36.

Figura 36 – Plano de Inserção de Referências

Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6
Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
ID: 119, Tipo: Densidade, Logística: 123			ID: 140, Tipo: Densidade, Logística: 123	ID: 150, Tipo: Densidade, Logística: 123	
ID: 120, Tipo: Volume, Logística: 123		ID: 131, Tipo: Volume, Logística: 123			ID: 157, Tipo: Volume, Logística: 123

Fonte: Autor

Foi planejado a inserção de seis registros referenciais, sendo cada dia inserido de uma maneira diferente. Temos então no primeiro dia a inserção de ambos registros volume e densidade, no segundo nenhum registro. No terceiro e sexto dia, apenas registro de volume, no quarto e quinto apenas densidade.

Observe que cada registro possui sua própria ID, seu tipo e a sua logística. Utiliza-se as cores verde, amarelo e roxo para indicar a ordem de inserção dos registros, sendo respectivamente 1, 2 e 3. Na Para os registros de densidade, utilizou-se uma cor mais escura, enquanto

Figura 37 – Tabela com relação entre Estados e Registros Após a Inserção no Sistema

	ESTADO DE VOLUME								ESTADO DE DENSIDADE								ESTADO DE MASSA
	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B	
DIA 1	120	120	120	120	120	120	120	120	119	119	119	119	119	119	119	119	1
DIA 2	120	120	120	120	120	120	120	120	119	119	119	119	119	119	119	119	1
DIA 3	131	131	120	120	120	131	120	131	119	119	119	119	119	119	119	119	2
DIA 4	131	131	120	120	120	131	120	131	140	140	119	119	119	140	119	140	3
DIA 5	131	131	120	120	120	131	120	131	150	150	119	150	119	140	150	140	4
DIA 6	157	157	120	157	120	131	157	131	150	150	119	150	119	140	150	140	5

Fonte: Autor

para o volume uma cor mais clara.

Na Figura 37, tem-se os estados de densidade e volume sendo representados por registros. Considera-se que os primeiros registros 119 e 120 foram os que inicializaram os estados. Como já visto nas tabelas deste capítulo, as pilhas são independentes e são influenciadas diferentemente pelos registros. A última coluna da tabela ilustrativa é chamada de "Estado de Massa", ele representa o estado referencial de massa. Cada mudança de número indica que essa variável está sendo alterada. Dessa maneira, percebe-se que a primeira alteração dos estados só foi computado no terceiro dia, sendo o segundo apenas uma repetição do primeiro dia. No terceiro dia, o estado de massa foi alterado pela inserção do registro de volume 131, qual alterou os valores de volume da pilha 1A, 1B, 2D e 3B. No quarto dia, o que gerou a modificação do estado de massa foi o registro de densidade de ID 140 nas mesmas pilhas do registro 131. No quinto dia, houve um novo registro de densidade nas pilhas 1A, 1B, 2B e 3A, alterando o estado de massa. No sexto dia houve uma atualização do estado de volume das pilhas alteradas no dia anterior. Computa-se a mesma lógica da Tabela 7 para atualização dos estados de referência.

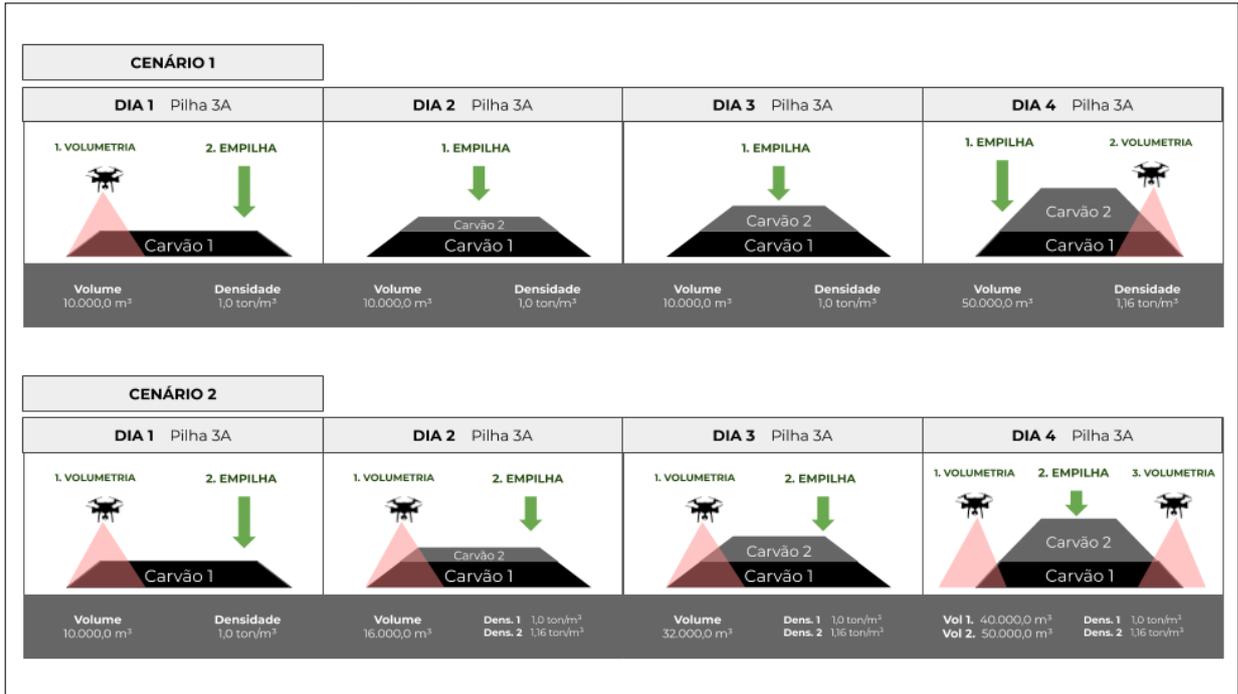
5.2.4 Atualização por Registros Diferenciais

Quando se pensa na atualização através dos registros diferenciais, o usuário terá as opções de inserir os dados conforme Seção 5.1.1.

Para exemplificar, supõe-se o caso de um descarregamento de um navio na pilha 3A. É previsto que o descarregamento dure 4 dias e para essa operação existem dois cenários possíveis de utilização do sistema, como ilustrado pela Figura 38.

No primeiro cenário, a operação decidiu que seriam realizados duas varreduras

Figura 38 – Cenários de Operação de Descarregamento na Pilha 3A



Fonte: Autor

LiDAR para levantamento volumétrico da Pilha 3A. Neste caso, prioriza-se apenas o resultado final do descarregamento. Dessa maneira, a primeira varredura seria antes do processo de empilha do carvão advindo do TCLD, com o objetivo de determinar o volume de carvão disponível no dia 1, com uma densidade conhecida. E a outra varredura seria ao término do descarregamento, descobrindo o volume total de carvão disponível após o descarregamento. Com a comparação entre os dois volumes e a densidade de cada tipo de carvão, é possível descobrir a quantidade em toneladas do carvão descarregado e da pilha como um todo.

No segundo cenário, a operação realiza um acompanhamento diário de entrada do estoque, realizando um ciclo diário de empilhamento e varredura. Nesse caso, considerar-se-á o valor de densidade igual ao entregue pelo fornecedor, já que o ensaio de densidade é realizado após o descarregamento e leva aproximadamente 1 semana para se obter o resultado.

Pensando sobre as varreduras, vale salientar que não é necessário parar a operação para a realização do estoque, pois é possível retirar as *Stackers&Reclaimers* através do processo de segmentação do software da estação de engenharia.

A Tabela 8 traz uma perspectiva interessante de como pode ocorrer o processo de acompanhamento de estoque e como ele pode ser mais preciso. Observe, por exemplo, que o estado intermediário de volume e densidade da pilha antiga é preservado enquanto se adiciona um determinada quantidade de volume de outro carvão de densidade diferente. O estado de diferença

Tabela 8 – Acompanhamento de Estados nos Cenários

CENÁRIO 1				
Descrição	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
1. SISTEMA ISAA				
V_{3A_k}	–	10.000,00 m^3	10.000,00 m^3	10.000,00 m^3
D_{3A_k}	1,0 ton/ m^3	1,0 ton/ m^3	1,0 ton/ m^3	1,0 ton/ m^3
2. CÁLCULO MANUAL DO DIFERENCIAL DE MASSA				
V_{3A}	10.000,00 m^3	–	–	50.000,00 m^3
$\Delta V_{3A_{manual}}$	–	–	–	40.000,00 m^3
$D_{fornecedor}$	–	–	–	1,16 ton/ m^3
$R\Delta_{e_k}$	–	–	–	46.400,00 ton
3. INSERÇÃO VALOR CÁLCULO DA MASSA				
$R\Delta_{e_k}$	–	–	–	46.400,00 ton
$V_{3A_k} \cdot D_{3A_k}$	10.000,00 ton	10.000,00 ton	10.000,00 ton	10.000,00 ton
M_{3A_k}	10.000,00 ton	10.000,00 ton	10.000,00 ton	56.400,00 ton
CENÁRIO 2				
Descrição	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4
1. SISTEMA ISAA				
V_{3A_k}	10.000,00 m^3	10.000,00 m^3	10.000,00 m^3	10.000,00 m^3
D_{3A_k}	1,0 ton/ m^3	1,0 ton/ m^3	1,0 ton/ m^3	1,0 ton/ m^3
2. CÁLCULO MANUAL DO DIFERENCIAL DE MASSA				
V_{3A_1}	10.000,00 m^3	16.000,00 m^3	32.000,00 m^3	40.000,00 m^3
V_{3A_2}	–	–	–	50.000,00 m^3
$\Delta V_{3A_1_{manual}}$	–	6.000,00 m^3	16.000,00 m^3	8.000,00 m^3
$\Delta V_{3A_2_{manual}}$	–	–	–	10.000,00 m^3
$D_{fornecedor}$	–	1,16 ton/ m^3	1,16 ton/ m^3	1,16 ton/ m^3
$R\Delta_{e1_k}$	–	6.960,00 ton	18.560,00 ton	9.280,00 ton
$R\Delta_{e2_k}$	–	–	–	11.600,00 ton
3. INSERÇÃO VALOR CÁLCULO DA MASSA				
$E\Delta_k$	0,00 ton	6.900,00 ton	18.560,00 ton	46.400,00 ton
$V_{3A_k} \cdot D_{3A_k}$	10.000,00 ton	10.000,00 ton	10.000,00 ton	10.000,00 ton
M_{3A_k}	10.000,00 ton	16.900,00 ton	28.560,00 ton	56.400,00 ton

Fonte: o autor.

nos dois cenários é que está sofrendo uma modificação, acumulando os valores inseridos pelo registro diferencial. Dessa maneira, o estoque se mantém com um valor atualizado até que ocorra o *blending* dos carvões e um ensaio de densidade da pilha 3A atribuindo um novo valor de

densidade. Assim será possível depois realizar uma nova varredura atualizando a referência de volume, e conseqüentemente, zerando o estado de diferença da pilha.

6 SIMULAÇÃO E DISCUSSÕES

Neste capítulo apresenta-se resultados oriundos de testes realizados em âmbito laboratorial, e, em seguida, discorre-se sobre as características observadas durante os ensaios.

6.1 Simulação de 9 dias de Uso

Considerou-se um período de teste de 9 dias para execução de instruções de comando na plataforma e verificação do comportamento do sistema.

Para inserção dos dados, foi considerado os dados reais de descarregamento de material no pátio e considerando como saída de uma pilha o consumo da usina. Os dados utilizados para inserção na plataforma foram extraídos de uma planilha em EXCEL de acompanhamento de estoque, qual foi utilizado os dados do período entre os dias 27/08/2018 e 04/09/2018. Como neste período uma das unidades de geração da EDP estava em manutenção, duplicou-se o valor de retoma para a consideração de consumo da usina em plena carga.

Dessa maneira, ao aplicar uma situação dessa natureza, buscou-se utilizar uma situação real para simulação da plataforma. O ideal para a presente seção teria sido o experimento em campo da utilização do sistema, mas devido à pandemia global causada pela COVID-19, buscou-se simular com os dados mais próximos do real, mesmo sem a inserção de parâmetros advindos do equipamento de varredura.

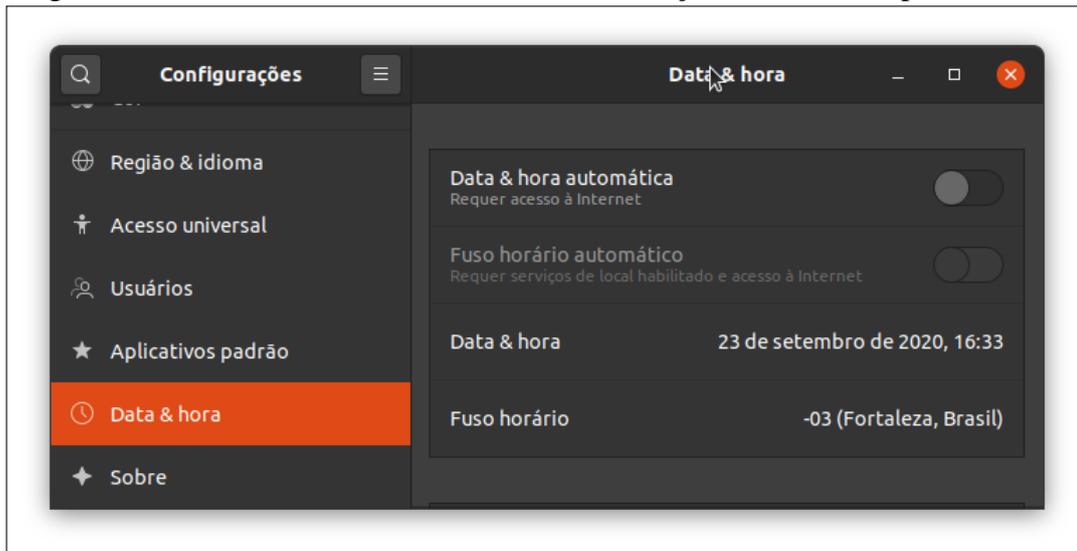
6.1.1 *Planejamento de Inserções*

Possuindo os dados para a simulação, é importante realizar um planejamento de como os registros serão inseridos, a ordem, além do estabelecimento de datas de simulação. Para facilitar a visualização dos dados ao longo do tempo, foi planejado a inserção de registros de referência a partir do dia 23/09. Essa data foi escolhida para inicialização do sistema devido ao fato do sistema está totalmente limpo, sem dados prévios.

Para que fosse possível inserir um registro em datas passadas, foi necessário forçar a data manualmente no sistema operacional. Nesta simulação, o sistema operacional utilizado foi o Ubuntu 20.04 LTS. Por isso, a data pode ser alterada através das "Configurações" do Sistema Operacional, na aba de "Data & Hora", como exemplificado pela Figura 39.

Neste dia, foi inserido no sistema dois registros de referência. O primeiro, foi de densidade e depois o de volume, conforme a Tabela 9 com dados iniciais hipotéticos para

Figura 39 – Selecionando a Data Inicial de Simulação no Sistema Operacional



Fonte: Autor

caracterizar um estado inicial de massa do pátio.

Tabela 9 – Inicialização de Estado Inicial do Sistema, 23 de setembro de 2020

Descrição	ID	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B	Dimensão
RR_{V_k}	151	32k	80k	20k	40k	50k	60k	7,2k	5k	m^3
RR_{d_k}	150	0,9406	0,9406	0,9406	0,9406	0,9406	0,9406	0,9406	0,9406	g/cm^3
$f^c_{Densidade}$	-	1,1023	1,1023	1,1023	1,1023	1,1023	1,1023	1,1023	1,1023	$ton.cm^3/g.m^3$
E_{m1_k}	1	33179	79737	20737	41474	51842	62210	7465	5184	ton

Fonte: o autor.

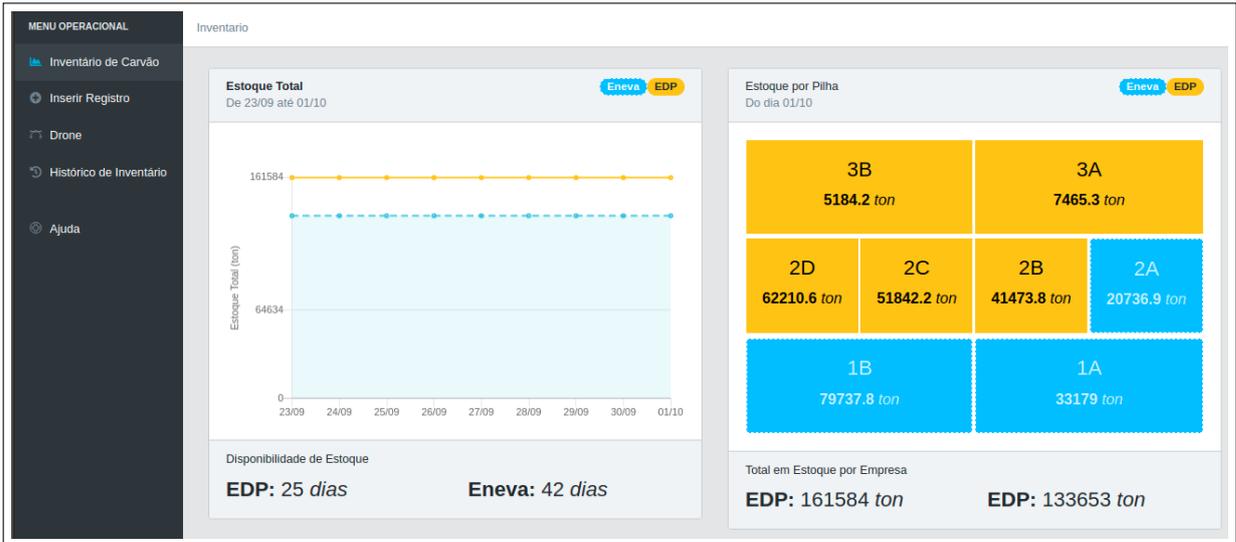
Para a consolidação dos registros inseridos, avançou-se o horário para 23:59 para que o registro pudesse ser consolidado no sistema na transição do dia. Como a simulação foi planejada para iniciar de fato apenas no dia 01 de outubro de 2020, repetiu-se o processo da data sem a inserção de registros até data desejada de início.

Como mostra a Figura 40, não há modificação entre os dias 23 de setembro e 1 de outubro de 2020. Inicializando, portanto, um estado inicial para analisar melhor as modificações de inventário que virão nos dias posteriores. Da forma projetada, o dia 1 da simulação passa a ser o dia 01/10/2020.

É importante começar a análise já com o gráfico mostrando que há material disponível no pátio para a simulação mostrar uma situação que expresse o mais próximo da realidade, como na Figura 40.

Tendo-se estabelecido um estado inicial, dispõe-se um plano de inserção de registros.

Figura 40 – Inventário no Primeiro Dia, 1 de outubro de 2020



Fonte: Autor

Desenhou-se a Figura 41 para exemplificar o momento de inserção de todos os registros que ocorrem dentro da simulação.

Figura 41 – Planejamento Geral de Inserção de Todos Registros

Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Dia 8	Dia 9
01/10	02/10	03/10	04/10	05/10	06/10	07/10	08/10	09/10
Dif. EDP TCLD	Dif. EDP TCLD	Dif. EDP TCLD	Dif. EDP TCLD	Varredura Aérea	Dif. ENEVA TCLD	Dif. ENEVA TCLD	Dif. ENEVA TCLD	Dif. ENEVA TCLD
Dif. ENEVA	Dif. ENEVA	Dif. ENEVA	Dif. ENEVA		Dif. ENEVA	Dif. ENEVA	Dif. ENEVA	Dif. ENEVA
Dif. EDP	Dif. EDP	Dif. EDP	Dif. EDP		Dif. EDP	Dif. EDP	Dif. EDP	Dif. EDP

Fonte: Autor

Além disso, desenvolve-se o plano de inserção de registros diferenciais. Adotou-se o cenário de acompanhamento diário de massa conforme planilhas fornecidas pela operação do pátio. Por isso, para atualização do sistema, utilizou-se o padrão de inserção de registros diferenciais. Considera-se, portanto, que a atualização dos estados de massa foram realizadas através dos registros diferenciais, como exemplificado na Seção 5.2.4, considerando adicionalmente um registro de volume no quinto dia, conforme a Figura 41.

Para se aprofundar nos valores inseridos, desenvolveu-se a Tabela 10 mostrando os valores e em quais pilha foram adicionado ou retirado massa de carvão.

Observa-se pela Tabela 10 que até a primeira metade da simulação, a operação do pátio realizava o descarregamento de carvão de um Navio da EDP na pilha 3B e retomava

Tabela 10 – Plano de Inserção de Registros Diferenciais na ISAA

	Registro Dif.	Eneva			EDP				
		1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
DIA 1	$R\Delta_{e1_k}$	0	0	0	0	0	0	0	4750,0
	$R\Delta_{s1_k}$	0	3210,7	0	0	0	6592,5	0	0
DIA 2	$R\Delta_{e1_k}$	0	0	0	0	0	0		7170,0
	$R\Delta_{s1_k}$	0	3286,0	0	0	0	6684,6	0	0
	$R\Delta_{s2_k}$	0	3280,2	0	0	0	6590,6	0	0
DIA 3	$R\Delta_{e1_k}$	0	0	0	0	0	0	0	34410,0
	$R\Delta_{s1_k}$	0	3291,2	0	0	0	6664,6	0	0
DIA 4	$R\Delta_{e1_k}$	0	0	0	0	0		0	18650,0
	$R\Delta_{s1_k}$	0	0	0	0	0	6584,4	0	0
DIA 5	SEM REGISTRO DIFERENCIAL								
DIA 6	$R\Delta_{e1_k}$	0	0	6200,0	0	0	0	0	0
	$R\Delta_{s1_k}$	0	0	3376,7	0	0	6553,8	0	0
DIA 7	$R\Delta_{s1_k}$	0	0	3355,1	0	0	6553,8	0	0
	$R\Delta_{e1_k}$	0	0	39043,0	0	0	0	0	0
DIA 8	$R\Delta_{s1_k}$	0	0	3376,7	0	0	6536,2	0	0
	$R\Delta_{e1_k}$	0	0	18821,0	0	0	0	0	0
DIA 9	$R\Delta_{s1_k}$	3342,15	0	0	0	4400,0	2200,34	0	0
	$R\Delta_{e1_k}$	18426,0	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: o autor.

carvão proveniente das pilhas 1B e 2D para a usina. Por fim de teste, adicionou-se um registro diferencial de saída adicional que pode ser verificado no dia 2. Na outra metade da simulação, o descarregamento realizado foi de um Navio da Eneva nas pilhas 1A e 2A, considerando ainda um processo de retoma/empilha onde uma parte do carvão descarregado foi diretamente para os silos da usina. A retoma da EDP foi feita nas pilhas 2D e 2C, qual foi consumido todo o estoque da pilha 2D e depois a retoma passou para a pilha 2C.

Tabela 11 – Plano de Inserção de Registros de Volume na ISAA

	Eneva			EDP				
	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
DIA 1	SEM REGISTRO REFERENCIAL							
DIA 2								
DIA 3								
DIA 4								
DIA 5	32000	60441	20000	40000	50000	21343,6	24393,3	67671,7
DIA 6	SEM REGISTRO REFERENCIAL							
DIA 7								
DIA 8								
DIA 9								

Fonte: o autor.

No dia 5 foi planejado o registro de volume para atualização do estado de volume do pátio. Neste caso, simulou-se a inserção do registro de volume através da ISAA, com resultados provenientes de varredura LiDAR realizada no pátio. Supõe-se, portanto, a inserção desses dados de levantamento de forma manual por algum dos gestores do pátio.

6.1.2 Resultados da Simulação e Discussões

Os resultados da simulação englobam as consequências de inserção de registros na interface como também os impactos gerados na contabilidade e acompanhamento do estoque.

Inicia-se visualizando o comportamento da interface ao final dos 9 dias de simulação, mostrando quais os resultados mostrados nas páginas de acompanhamento de registro e do estoque.

Dessa maneira, visualiza-se o resultado final do estoque em 9 dias de simulação na Figura 42. Além disso, as Figuras 43, 44, 48 mostram respectivamente as tabelas de Registro Recente, Histórico de Registros e Histórico de Fechamentos disponíveis na página de Histórico de Inventário da ISAA.

Figura 42 – *Dashboard* do Inventário no Último Dia, 9 de Outubro de 2020.



Fonte: Autor

Figura 43 – Registros e Estado Intermediário de Massa do nono dia.

Registros Recentes													
Actions	ID ↓	Dia e Hora	Tipo	Registrou	Editou	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
> ✎ 🗑	176	09/10/2020 às 07:57	ENTRADA	Nadson Tomé	--	18426.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
> ✎ 🗑	175	09/10/2020 às 07:55	SAÍDA	Nadson Tomé	--	3342.15	0.00	0.00	0.00	4400.34	2200.30	0.00	0.00
> ✎ 🗑	0	09/10/2020 às 09:23	FECHAMENTO	System	--	48264.85	62668.00	74693.46	41474.00	47442.66	286.04	25292.00	70165.00

5 rows | < > 1-3 of 3 > |

Fonte: Autor

Além da interface, analisa-se também os impactos dos dados inseridos através do registro. Para isso, leva-se em consideração a interação dos estados e o passo-a-passo de execução do sistema. Um dos registros interessantes para análise é o da inserção do registro de volume no

Figura 44 – Todos os registros consolidados até o nono dia.

Histórico de Registros												
Primeiro dia		Último dia										Selecionar
ID ↓	Dia e Hora	Tipo	Resgistrou	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B	
>	173	08/10/2020 às 16:03	ENTRADA	Nadson Tomé	0.00	0.00	18821.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
>	172	08/10/2020 às 16:02	SAIDA	Nadson Tomé	0.00	0.00	3376.71	0.00	0.00	6536.16	0.00	
>	171	07/10/2020 às 13:09	ENTRADA	Nadson Tomé	0.00	0.00	39043.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
>	170	07/10/2020 às 13:08	SAIDA	Nadson Tomé	0.00	0.00	3355.12	0.00	0.00	6553.75	0.00	
>	169	06/10/2020 às 14:16	SAIDA	Nadson Tomé	0.00	0.00	3376.71	0.00	0.00	6553.75	0.00	
>	168	06/10/2020 às 14:16	ENTRADA	Nadson Tomé	0.00	0.00	6200.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
>	167	05/10/2020 às 21:13	REFERENCIA	Nadson Tomé	33181.00	62668.00	20738.00	41474.00	51843.00	22130.00	25292.00	70165.00
>	164	04/10/2020 às 15:33	SAIDA	Nadson Tomé	0.00	3291.15	0.00	0.00	0.00	6584.43	0.00	
>	163	04/10/2020 às 15:32	ENTRADA	Nadson Tomé	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	18650.00	
>	162	03/10/2020 às 08:02	SAIDA	Nadson Tomé	0.00	3285.99	0.00	0.00	0.00	6664.58	0.00	
>	161	03/10/2020 às 08:01	ENTRADA	Nadson Tomé	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	34410.00	
>	160	02/10/2020 às 15:01	SAIDA	Nadson Tomé	0.00	3285.99	0.00	0.00	0.00	6664.58	0.00	
>	159	02/10/2020 às 15:01	SAIDA	Nadson Tomé	0.00	3280.18	0.00	0.00	0.00	6590.57	0.00	
>	158	02/10/2020 às 00:00	ENTRADA	Nadson Tomé	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7170.00	
>	156	01/10/2020 às 11:29	SAIDA	Nadson Tomé	0.00	3310.74	0.00	0.00	0.00	6592.54	0.00	
>	155	01/10/2020 às 11:29	ENTRADA	Nadson Tomé	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4750.00	

Fonte: Autor

Figura 45 – Todos os fechamentos consolidados até o nono dia.

Histórico de Fechamentos											
Primeiro dia		Último dia									Selecionar
ID ↓	Dia e Hora	Editou	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B	
>	100	08/10/2020 às 03:00	--	33181	62668	74693.45999999999	41474	51843	2486.34	25292	70165
>	99	07/10/2020 às 03:00	--	33181	62668	59249.17	41474	51843	9022.5	25292	70165
>	98	06/10/2020 às 03:00	--	33181	62668	23561.29	41474	51843	15576.25	25292	70165
>	97	05/10/2020 às 03:00	--	33180	63185.549999999996	20737	41474	51843	22854.849999999995	25291.13	70165
>	96	04/10/2020 às 03:00	--	33180	66493.95	20737	41474	51843	29114.299999999996	7466	70165
>	95	03/10/2020 às 03:00	--	33180	69785.099999999999	20737	41474	51843	35698.729999999996	7466	51515
>	94	02/10/2020 às 03:00	--	33180	73071.09	20737	41474	51843	42363.31	7466	17105
>	93	01/10/2020 às 03:00	--	33180	79637.26	20737	41474	51843	55618.46	7466	9935

Fonte: Autor

dia 5 e que sua interação com o sistema pode ser acompanhada pela Tabela 12.

Observe, pela Tabela 12, que o registro modifica o estado de volume. Por sua vez, o estado de volume cruza com o de densidade para atualizar o estado intermediário de massa do sistema.

Interessante observar que na atualização dessa informação de referência, o estado de volume atualizou nas pilhas 1B, 2D, 3A e 3B. Interessante notar que em comparação ao estado de massa consolidado no dia 4, houve uma diferença de redução de massa nas pilhas 1B e 2D. Considerando que a densidade utilizada tenha sido realizada por ensaio de densimetria, e, portanto, seja uma densidade confiável, os dados de consumo inseridos foram originados da balança dinâmica. Assim, o sistema corrigiu os erros cumulativos de respectivamente 5,89% e

Tabela 12 – Registro de Volume inserido no dia 5 de outubro

Descrição	ID	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B	Dimensão
0. Estado Consolidado de Massa do dia 4 de outubro										
$E_{m0_{k-1}}$	0	33,18k	66,59k	20,74k	41,47k	51,84k	29,09k	7,47k	70,17k	ton
1. Atualização do Estado Intermediário de Volume										
$E_{v0_{k-1}}$	0	32k	80k	20k	40k	50k	60k	7,2k	5k	m^3
RR_{v_k}	167	32k	60,44k	20k	40k	50k	21,34k	24,39k	67,67k	m^3
E_{v1_k}	1	32k	60,44k	20k	40k	50k	21,34k	24,39k	67,67k	m^3
2. Atualização do Estado Intermediário de Massa										
E_{v1_k}	1	32k	60,44k	20k	40k	50k	21,34k	24,39k	67,67k	m^3
E_{d1_k}	1	1,0368	1,0368	1,0368	1,0368	1,0368	1,0368	1,0368	1,0368	ton/ m^3
E_{m1_k}	1	33,18k	62,67k	20,74k	41,47k	51,84k	22,13k	25,29k	70,17k	ton

Fonte: o autor.

23,94%. Observa-se, também, que a pilha 3A aumentou significativamente. Isso pode ter sido ocasionado pela inserção incorreta dos dados pela plataforma ou pode ser porque a pilha não havia sido atualizada no passado. Mas adotando o pior caso, gerou um aumento de 238,8% da massa de carvão da pilha 3A de forma equivocada, resultando num impacto de 8,91% do total do estoque da EDP.

Esse problema, se percebido no mesmo dia, pode ser rapidamente corrigido através da tabela de Registros Recentes. Como comentado na seção X da ISAA, um usuário com a credencial de edição poderá efetuar a correção do erro ou simplesmente deletar o registro e inserir novamente com o valor corrigido.

Um dos estados que é interessante acompanhar é o estado de diferença. A Tabela 13 mostra como foi o seu comportamento dia-a-dia.

Tabela 13 – Estado de Diferença ao longo dos 9 dias

	Eneva			EDP				
	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
DIA 1	0	-3210,7	0	0	0	0	0	+4750
DIA 2	0	-9776,9	0	0	0	0	0	+11920
DIA 3	0	-13062,9	0	0	0	0	0	+46330
DIA 4	0	-16354,1	0	0	0	0	0	+64980
DIA 5	0	0	0	0	0	0	0	0
DIA 6	0	0	+2823,3	0	0	-6553,8	0	0
DIA 7	0	0	+38511,2	0	0	-13107,6	0	0
DIA 8	0	0	+53955,5	0	0	-19643,8	0	0
DIA 9	+15083,85	0	+53955,5	0	-4400	-21844,14	0	0

Fonte: o autor.

Observe que com no dia 5, ao se inserir o registro de volume atualizando o estado de

volume de todas as pilhas, todas as pilhas que possuíam seu estado de diferença acumulando valores foram zeradas. A pilha 1B até o dia 4, por exemplo, acumulava -16.354,1 toneladas e a pilha 3B acumulava positivamente. Isso é interessante para mostrar como o estado de volume tem prioridade sobre o estado de diferença, uma das regras da MACE demonstrada na Seção 5.2.2. Além de relacionar com a já discutida 12.

Tabela 14 – Estado Intermediário de Volume (E_{v1_k}) ao longo dos 9 dias

	Eneva			EDP				
	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
DIA 1	32000,0	80000,0	20000,0	40000,0	50000,0	60000,0	7200,0	5000,0
DIA 2	32000,0	80000,0	20000,0	40000,0	50000,0	60000,0	7200,0	5000,0
DIA 3	32000,0	80000,0	20000,0	40000,0	50000,0	60000,0	7200,0	5000,0
DIA 4	32000,0	80000,0	20000,0	40000,0	50000,0	60000,0	7200,0	5000,0
DIA 5	32000,0	60441,0	20000,0	40000,0	50000,0	21343,6	24393,3	67671,7
DIA 6	32000,0	60441,0	20000,0	40000,0	50000,0	21343,6	24393,3	67671,7
DIA 7	32000,0	60441,0	20000,0	40000,0	50000,0	21343,6	24393,3	67671,7
DIA 8	32000,0	60441,0	20000,0	40000,0	50000,0	21343,6	24393,3	67671,7
DIA 9	32000,0	60441,0	20000,0	40000,0	50000,0	21343,6	24393,3	67671,7

Fonte: o autor.

A Tabela 14 traz os estados de volume diário. Novamente é perceptível a ruptura da continuidade dos valores que sofreram de fato alteração ao longo dos dias, com exceção da pilha 3A que foi identificada anormalidade conforme já comentado.

Todas as tabelas de estado 13, 15 e 14, juntamente com o valor da densidade de todas as pilhas fornecida pela Tabela 12, podem ser utilizadas para aplicação da equação 5.9 com o intuito da formação da Tabela 15.

Tabela 15 – Estado Intermediário de Massa (E_{m1_k}) ao longo dos 9 dias

	Eneva			EDP				
	1A	1B	2A	2B	2C	2D	3A	3B
DIA 1	33179,0	79736,8	20736,9	41473,75	51842,2	55618,1	7465,3	9934,2
DIA 2	33179,0	73170,6	20736,9	41473,75	51842,2	42342,9	7465,3	17104,2
DIA 3	33179,0	69884,6	20736,9	41473,75	51842,2	35678,3	7465,3	51514,2
DIA 4	33179,0	66593,4	20736,9	41473,75	51842,2	29093,9	7465,3	70165,0
DIA 5	33179,0	62667,9	20736,9	41473,75	51842,2	22130,0	25292,0	70165,0
DIA 6	33179,0	62667,9	23560,2	41473,75	51842,2	15576,2	25292,0	70165,0
DIA 7	33179,0	62667,9	59248,1	41473,75	51842,2	9022,4	25292,0	70165,0
DIA 8	33179,0	62667,9	74692,4	41473,75	51842,2	2486,2	25292,0	70165,0
DIA 9	48263,0	62667,9	74692,4	41473,75	47442,2	285,86	25292,0	70165,0

Fonte: o autor.

Dessa maneira, ao final dos 9 dias de simulação, obtém-se os valores de massa conforme Tabela 15. Com esses dados contabilizados, é possível extrair a soma diária de cada empresa, como mostrado pela Tabela 16.

Tabela 16 – Soma Total da Massa de Carvão das Empresas ao longo dos 9 dias

	DIA 1	DIA 2	DIA 3	DIA 4	DIA 5	DIA 6	DIA 7	DIA 8	DIA 9
SOMA EDP	166334	160228	187974	200039	210903	204349	197795	191259	184659
SOMA ENEVA	133653	12086	123800	120509	116584	119407	155095	170539	185623

Fonte: o autor.

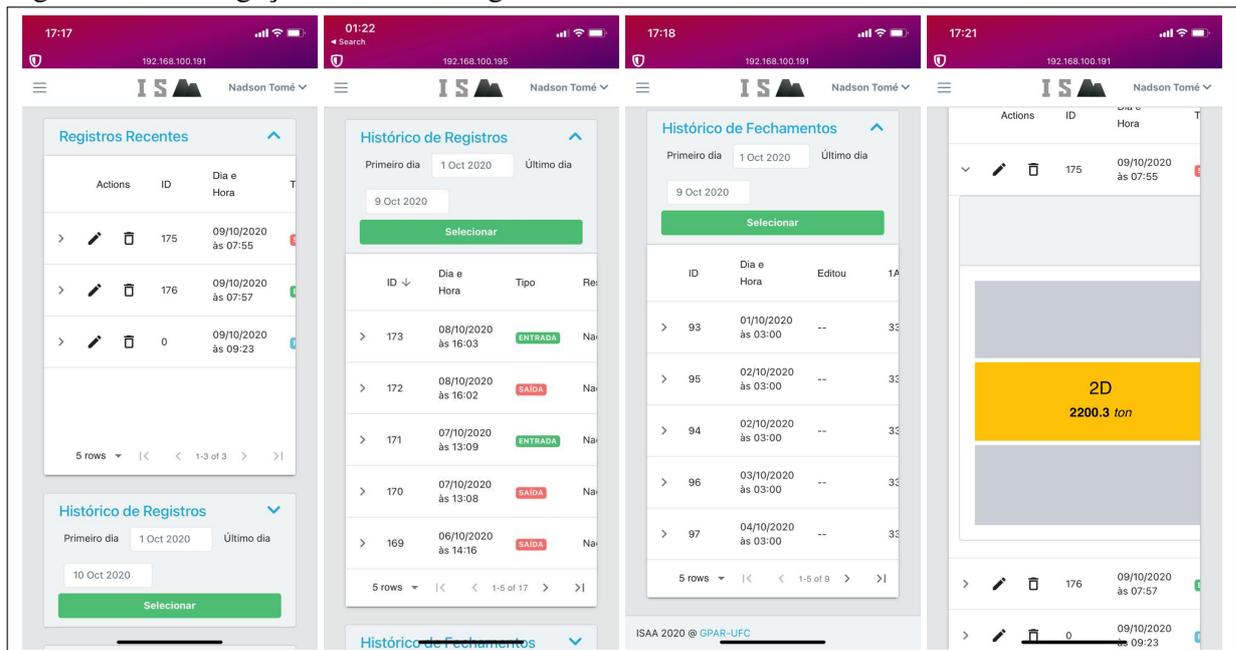
Os dados de soma levantados pela API REST são utilizados para a geração do gráfico de estoque total visto na Figura 42.

6.2 Responsividade

Um dos pontos analisados na simulação foi da visualização dos dados, gráficos e nuvem de pontos através da plataforma ISAA pelo celular. Para fins de teste, utilizou-se um iPhone 11 de tela de resolução 1792x828 pixel. Para os testes desta seção, utilizou-se os navegadores Firefox Focus da versão 8.1.6 e o Safari da versão 14.3.

Percebeu-se que existem alguns problemas nítidos de adequação de padrão de tamanhos de fontes e layout de acordo com a redução da resolução. Por isso, destaca-se os possíveis problemas relacionados a responsividade.

Verifica-se pela Figura 46, por exemplo, que as tabelas estão cortadas, o que pode impactar na experiência do usuário devido o fato de não mostrar de imediato os valores colocados nos registros inseridos no sistema.

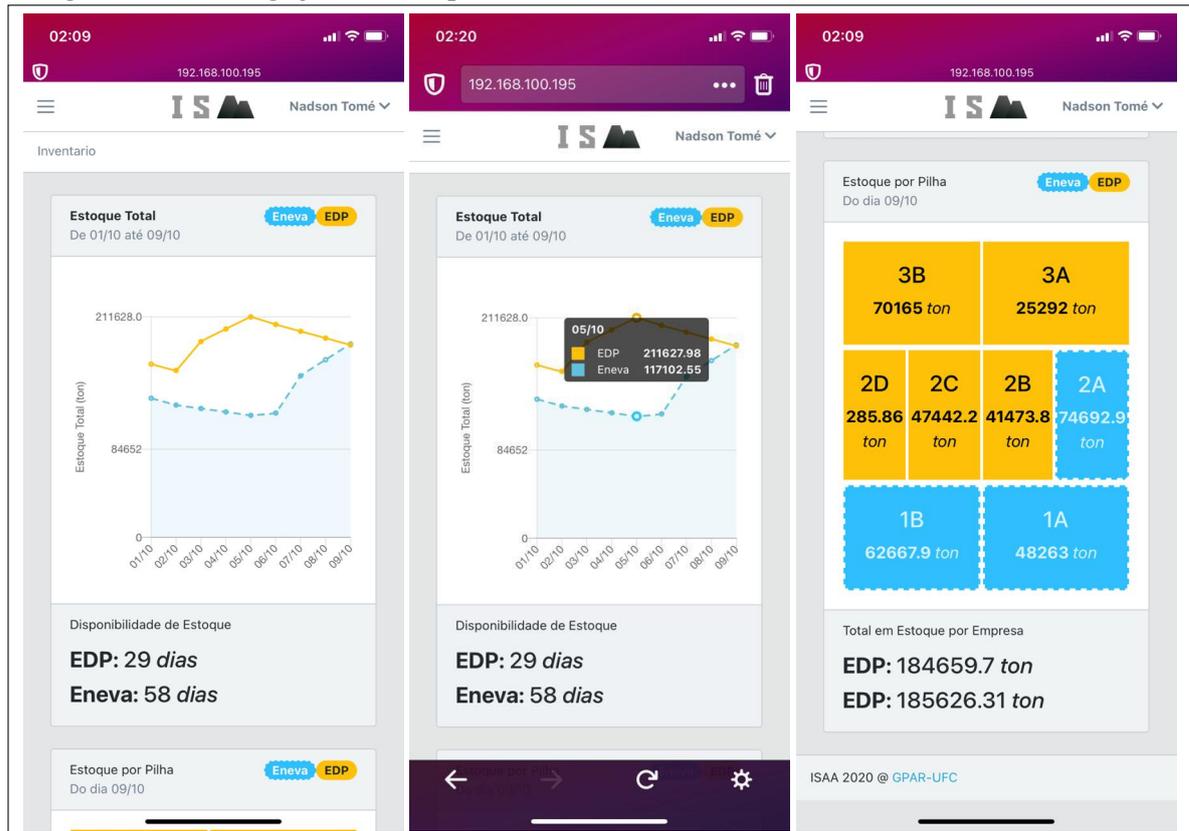
Figura 46 – Navegação *Mobile* na Página do Histórico de Inventário.

Fonte: Autor

Outro problema que é possível destacar é do design do painel das pilhas que não foi ainda adaptado a um design responsivo para dentro das tabelas do histórico, como pode ser evidenciado na Figura 46.

Na dashboard do inventario o tamanho do gráfico de estoque total para cada empresa está aceitável tão bem quanto o painel das pilhas, conforme percebe-se pela Figura 47.

Figura 47 – Navegação *Mobile* pela Dashboard do Inventário.

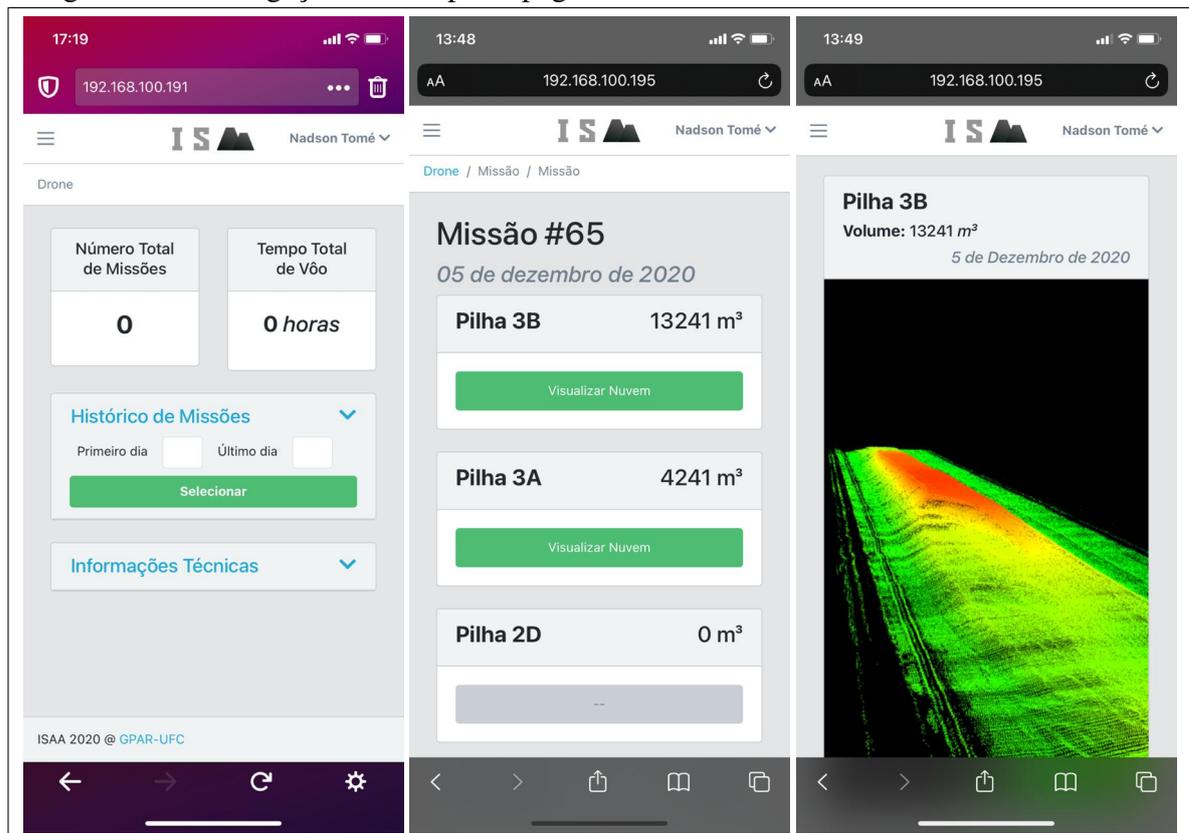


Fonte: Autor

Nas páginas relativas às missões do drone e visualização da nuvem de pontos, verifica-se que o design está visivelmente aceitável para realização de testes com os usuários.

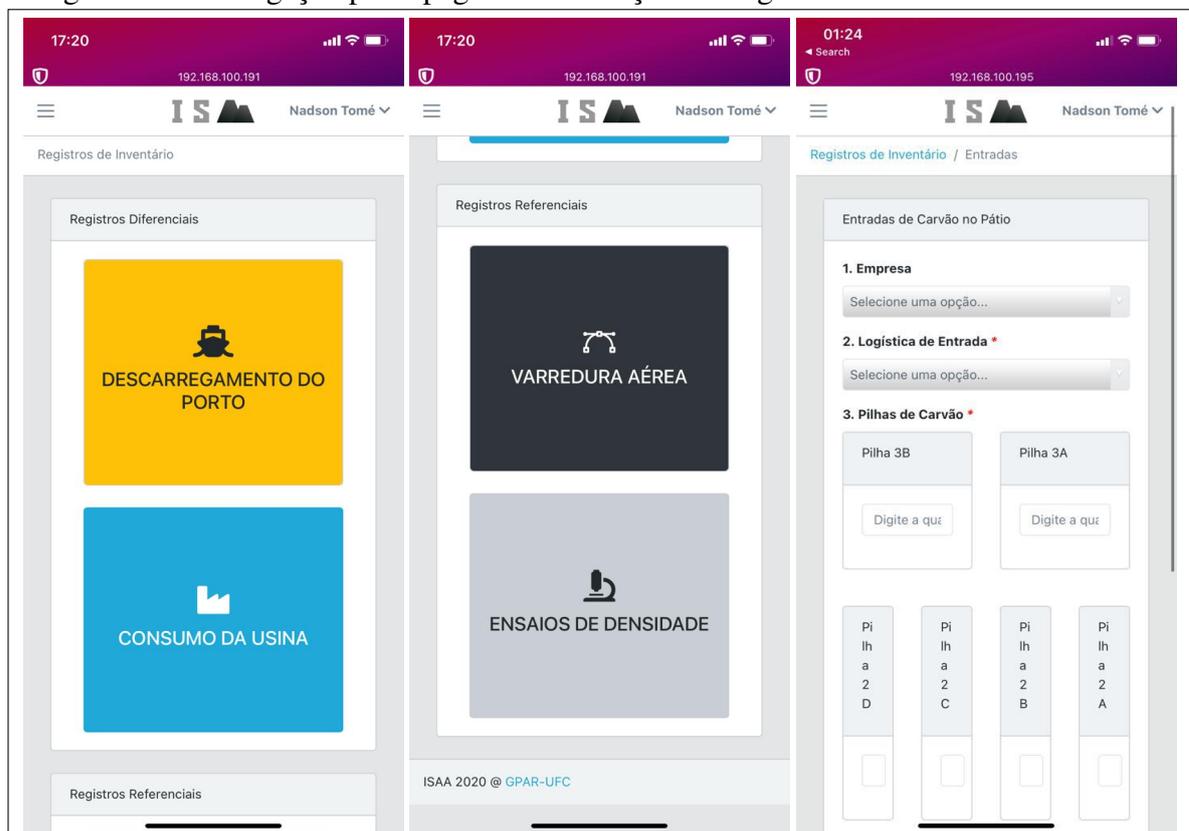
Adicionalmente, verifica-se nas páginas dos formulários de registros que há necessidade de aprimoramento dos campos para escrita dos valores referentes as pilhas, como pode ser evidenciado na Figura 49. A página que antecede o formulário está aceitável conforme a utilização, entretanto há espaços de melhorias.

Figura 48 – Navegação *Mobile* pelas páginas de Missão e Nuvem de Pontos.



Fonte: Autor

Figura 49 – Navegação pelas páginas de Inserção de Registros.



Fonte: Autor

7 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Uma plataforma web para gerenciamento dos dados do pátio de estocagem de uma termelétrica foi apresentado. A plataforma é composta por um sistema cibernético e sua metodologia de operação. O intuito do trabalho foi de possibilitar o gerenciamento dos coletados do pátio para a realização da revisão contínua de estoque de carvão mineral.

Do ponto de vista da metodologia MACE apresentada, destaca-se a abordagem de relacionar o uso das instrumentações com a quantificação de carvão, que possibilita a estruturação de política de operação para revisão contínua de estoque de carvão de uma usina termelétrica.

Um dos pontos importantes da metodologia MACE é a introdução dos conceitos de registros referenciais e diferenciais dentro do cálculo do estoque contábil (ou estado de massa), dado a diferença da natureza de suas instrumentações, essa categorização é importante por apresentar dimensões de valores distintos ao cálculo do estoque contábil e por afetar diferentemente esse cálculo.

Dessa maneira, a MACE apresentou flexibilidade na utilização das instrumentações disponíveis pela empresa, apesar de ser incentivado apenas os métodos de medição de referência (volumetria e densimetria). Por exemplo, instrumentações de pesagem suscetíveis a erros cumulativos, como no caso das balanças dinâmicas, poderão ser utilizadas para se obter um estoque contábil próximo do estoque físico. Isso se deve ao fato de medições de alta precisão, como volumetria LiDAR, aliadas aos ensaios de densidade das pilhas, serem utilizadas como base de referência para o cálculo do estoque contábil, corrigindo os erros cumulativos.

Além disso, a MACE transparece dentro da plataforma através da utilização da aplicação web que possibilita a catalogação do histórico de registros de entrada, saída e de referência de carvão do pátio, inserção de registros manuais e visualização das volumetrias LiDAR.

Do ponto de vista da plataforma web proposta, destaca-se a centralização dos dados do pátio de vários equipamentos em campo conectados numa rede industrial *intranet*, possibilitando uma abertura para o desenvolvimento de uma solução que traga facilidade e transparência ao acesso da informações de campo no ambiente administrativo.

Com o propósito de demonstrar a utilização prática da plataforma web proposta, foram conduzidas simulação de algumas situações de descarregamento de navio no porto. Utilizou-se a metodologia MACE para o cálculo de estoque contábil. Sendo possível analisar os resultados da metodologia a partir dos gráficos apresentados na Dashboard do sistema e na seção

de históricos dos registros de estado da plataforma.

Por fim, a plataforma web permite aos gestores a monitorarem as informações de campo tanto de modo quantitativo como também qualitativo. Da perspectiva quantitativa, tem-se os números que expressam a massa, volume, densidade, dias de disponibilidade. Do ponto de vista qualitativo, é possível verificar a qualidade das medições realizadas em campo pelo sistema de varredura laser através de uma aplicação web de visualização da nuvem de pontos 3D.

7.1 Trabalhos Futuros

Devido a alta complexidade e extensão do problema, existem várias vertentes para encaminhamentos de trabalho futuros, podendo ser evidenciado a necessidade de refinamento da metodologia MACE e da condução de experimentos práticos do sistema de gerenciamento dos dados do pátio em campo.

Com relação ao aprimoramento da MACE, visiona-se que esse trabalho deve ser conduzido juntamente com os usuários do sistema, para avaliação e adequação da metodologia aos procedimentos operacionais.

Como comentado, atualmente a forma como os registros são inseridos através da plataforma web podem fazer diferença na contabilidade do estoque, por isso será necessário estudar maneiras que possam simplificar todo processo e reduzir os impactos do engessamento do processo de inserção de dados no sistema.

Para isso, será necessário trabalhar principalmente na forma como a densidade é relacionada ao volume. Ainda em relação à metodologia, propõe-se que no futuro os registros diferenciais não serão feitos com dados de balanças ou da arqueação de navios, mas através da comparação entre dois estados referenciais gerados com dados de volume e densidade. Isso trará ainda mais recorrência a utilização do equipamento de volumetria LiDAR como também proporcionará uma maior precisão e confiabilidade ao estoque contábil, pois os estados de referência são sobrescritos por novos valores inseridos, mas não são comparados e relacionados com valores passados de referência.

Além disso, é primordial que a metodologia possa ser expandida além do pátio de carvão e passar a considerar o estoque de matéria-prima nos silos das unidades de geração.

REFERÊNCIAS

- ADITYA, I.; SIMAREMARE, A. A.; HUDAYA, C. Study of coal inventory planning analysis in a coal-fired power plant using continuous and periodic review. In: **2019 IEEE 2nd International Conference on Power and Energy Applications (ICPEA)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 33–36.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia elétrica do Brasil: Fontes não-renováveis. Parte III - Carvão Mineral**. 3. ed. Brasília: Aneel, 2008.
- ALKAN, R. M.; KARSIDAG, G. Analysis of the accuracy of terrestrial laser scanning measurements. In: **FIG WORKING WEEK 2012**. Rome, Italy, 2012. p. 6–10.
- ALLOTTA, B.; D'ADAMIO, P.; MARINI, L.; MELI, E.; PUGI, L.; RINDI, A. A new strategy for dynamic weighing in motion of railway vehicles. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 16, n. 6, p. 3520–3533, 2015.
- AMANN, M.-C.; BOSCH, T. M.; LESCURE, M.; MYLLYLAE, R. A.; RIOUX, M. Laser ranging: a critical review of unusual techniques for distance measurement. **Optical Engineering**, v. 40, jan. 2001.
- ARANGO, C.; MORALES, C. Comparison between multicopter UAV and total station for estimating stockpile volumes. **The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Copernicus GmbH, v. 40, n. 1, p. 131, 2015.
- ARBACHE, F. S.; SANTOS, A. G.; CHRISTOPHE; MOREIRA, M.; SALLES, W. F. **Gestão de logística, distribuição e trade marketing**. 4. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7185**: Solo - determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 2016.
- BALASUBRAMANEE, V.; WIMALASENA, C.; SINGH, R.; PIERCE, M. Twitter bootstrap and angularjs: Frontend frameworks to expedite science gateway development. In: **2013 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER)**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 1–1.
- CHEN, S. .; GULATIT, S.; HAMID, S.; HUANG, X.; LUO, L.; MORISSEAU-LEROY, N.; POWELL, M. D.; ZHAN, C.; ZHANG, C. A three-tier system architecture design and development for hurricane occurrence simulation. In: **International Conference on Information Technology: Research and Education, 2003. Proceedings. ITRE2003**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 113–117.
- CHINNATHAMBI, K. **Learning React: A Hands-On Guide to Building Web Applications Using React and Redux**. Pearson Education, 2018. (Learning). Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?id=7KVYDwAAQBAJ>>.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 92/94**: Solo - determinação da massa específica aparente, “in situ”, com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 1994.
- DIÁRIO DO NORDESTE. **UTE Pecém já dispõe de 523 mil t de carvão**. 2012. Disponível em: <<https://bit.ly/2UpYObU>>. Acesso em: 13 nov. 2020.

- EFFENDI, M.; RUSDIANSYAH, A. Dynamic simulation to minimize inventory cost of coal considering uncertainty demand of product. In: **The 8th International Conference on Transportation & Logistics (T-LOG 2020)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 23–27.
- FOJTÍK, D. Measurement of the volume of material on the conveyor belt measuring of the volume of wood chips during transport on the conveyor belt using a laser scanning. In: **IEEE Proceedings of the 2014 15th International Carpathian Control Conference (ICCC)**. [S.l.], 2014. p. 121–124.
- HADLEY, M.; WHITIN, T. M. **Analysis of Inventory Systems**. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1963. 459 p.
- HALIMIC, M.; BALACHANDRAN, W. Kalman filter for dynamic weighing system. In: **1995 Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics**. [S.l.: s.n.], 1995. v. 2, p. 786–791 vol.2.
- HAUSER, D.; GLENNIE, C.; BROOKS, B. Calibration and accuracy analysis of a low-cost mapping-grade mobile laser scanning system. **Journal of Surveying Engineering**, v. 142, n. 4, p. 04016011, 2016.
- HE, H.; CHEN, T.; ZENG, H.; HUANG, S. Ground control point-free unmanned aerial vehicle-based photogrammetry for volume estimation of stockpiles carried on barges. **Sensors**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 19, n. 16, p. 3534, 2019.
- HUANG, R.; JIANG, L.; WANG, H.; YANG, B. A bidirectional analysis method for extracting glacier crevasses from airborne LiDAR point clouds. **Remote Sensing**, v. 11, p. 2373, 10 2019.
- INKANE, N. S.; KOTAK, S. A.; MANEKAR, A. S. Splay: A lightweight video streaming application. In: **2019 International Conference on Innovative Trends and Advances in Engineering and Technology (ICITAET)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 139–143.
- INSTRUMENTATION TOOLS. **What is a weigh Feeder?** 2018. Disponível em: <<https://instrumentationtools.com/what-is-a-weigh-feeder/>>. Acesso em: 04 jan. 2021.
- LEE, D.-Y.; SAHA, R.; YUSUFI, F.; PARK, W.; KARIMI, I. Web-based applications for building, managing and analysing kinetic models of biological systems. **Briefings in Bioinformatics**, v. 10, p. 65–74, 10 2008.
- LIAO, G.; XI, J. Design and implement of vehicle dynamic weighing system. In: **2010 International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation**. [S.l.: s.n.], 2010. v. 1, p. 1131–1134.
- MIKOWSKI, M.; POWELL, J. **Single Page Web Applications: JavaScript End-to-End**. 1st. ed. USA: Manning Publications Co., 2013.
- NIEDŹWIECKI, M.; PIETRZAK, P. High-precision fir-model-based dynamic weighing system. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 65, n. 10, p. 2349–2359, 2016.
- NUNES, R. V.; SANTOS, S. H. X. dos; ASSIS, C. W. C. de; FONSECA, R. de C.; CIRIACO, F. S. P. A relevância do estudo da acuracidade de estoques em um comércio atacadista. In: **X Congresso Nacional de Excelência em Gestão**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–5.
- OLIVEIRA, E. V. de. **Meteorologia Aplicada**. 1st. ed. Recife - PE: Rede e-Tec Brasil, 2014.

OSBORNE, D.; SMITH, G.; MANN, B. 18 - supply chain management for bulk materials in the coal industry. In: OSBORNE, D. (Ed.). **The Coal Handbook: Towards Cleaner Production**. [S.l.]: Woodhead Publishing, 2013, (Woodhead Publishing Series in Energy, v. 1). p. 589 – 627.

PENG, C. The research and design of 3d web guide system based on webgl. In: **The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC)**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 4052–4054.

RAEVA, P.; FILIPOVA, S.; FILIPOV, D. Volume computation of a stockpile—a study case comparing GPS and UAV measurements in an open pit quarry. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences**, v. 41, 2016.

RASCIA, T. **React Tutorial: An Overview and Walkthrough**. 2018. Disponível em: <<https://www.taniarascia.com/getting-started-with-react/>>. Acesso em: 16 nov. 2020.

ROBB, F. F. Cybernetics in management thinking. **Systems Research**, v. 1, n. 1, p. 5–23, 1984.

ROSA, H.; MAYERLE, S.; GONÇALVES, M. Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica: uma análise comparativa utilizando simulação. **Produção**, v. 20, n. 4, p. 626–638, 12 2010.

SCIENTIFIC, T. F. **Thermo Scientific Belt Conveyor Scale Handbook**. [S.l.], 2016.

SILVER, E.; PYKE, D.; PETERSON, R. **Inventory Management and Production Planning and Scheduling**. USA: John Wiley & Sons, 1998.

SOUSA, N. R. T. **Análise de Engenharia e Proposição de um Sistema Automático de Aquisição de Dados para Medição de Volume de Estoque de Carvão do Pátio de uma Termelétrica**. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica) — Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

TOMMASELLI, A. M. G.; BERVEGLIERI, A. Measuring photogrammetric control targets in low contrast images. **Boletim de Ciências Geodésicas**, scielo, v. 24, p. 171 – 185, 06 2018. ISSN 1982-2170.

TUCCI, G.; GEBBIA, A.; CONTI, A.; FIORINI, L.; LUBELLO, C. Monitoring and computation of the volumes of stockpiles of bulk material by means of UAV photogrammetric surveying. **Remote Sensing**, v. 11, p. 1471, 06 2019.

TWISDALE, L. A.; CHU, J. A decision methodology for coal inventory optimization. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems**, PAS-98, n. 6, p. 1947–1957, 1979.

Van Genderen, J. L. **Airborne and terrestrial laser scanning**. United Kingdom: CRC Press, 2010.

VOSSelman, G.; MAAS, H.-D. **Airborne and Terrestrial Laser Scanning**. [S.l.]: Whittles Publishing, 2010.

WALLACE, L.; LUCIEER, A.; WATSON, C.; TURNER, D. Development of a UAV-LiDAR system with application to forest inventory. **Remote Sensing**, v. 4, n. 6, p. 1519–1543, 2012. ISSN 2072-4292.

WALLER, M.; NACHTMANN, H.; HUNTER, J. Measuring the impact of inaccurate inventory information on a retail outlet. **The International Journal of Logistics Management**, v. 17, n. 3, p. 355–376, 2006.

ZHANG, D.; LIN, S.; FU, Y.; HUANG, S. The communication system between web application host computers and embedded systems based on node.js. In: **2017 10th International Congress on Image and Signal Processing, BioMedical Engineering and Informatics (CISP-BMEI)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–5.