

REVISTA ESFERA ACADÊMICA TECNOLOGIA
VOLUME 7, Nº2, ANO 2022 – ISSN – 2526-4141

REVISTA CIENTÍFICA



ISSN 2526-4141

REVISTA ESFERA ACADÊMICA TECNOLOGIA

Volume 7, número 2

Vitória

2022

EXPEDIENTE

Publicação Semestral

ISSN 2526-4141

Temática: Tecnologia

Capa

***Marketing* Faculdade Brasileira Multivix-Vitória**

Os artigos publicados nesta revista são de inteira responsabilidade de seus autores e não refletem, necessariamente, os pensamentos dos editores

Correspondências

Coordenação de Pesquisa e Extensão Faculdade Brasileira Multivix-Vitória

Rua José Alves, 301, Goiabeiras, Vitória/ES | 29075-080

E-mail: pesquisa.vitoria@multivix.edu.br

Pablo.oliveira@multivix.edu.br

FACULDADE BRASILEIRA MULTIVIX-VITÓRIA

DIRETOR EXECUTIVO

Tadeu Antônio de Oliveira Penina

DIRETORA ACADÊMICA

Eliene Maria Gava Ferrão Penina

DIRETOR ADMINISTRATIVO E FINANCEIRO

Fernando Bom Costalonga

COORDENADOR DE PESQUISA E EXTENSÃO

Pablo Gatt

CONSELHO EDITORIAL

Alexandra Barbosa Oliveira

Karine Lourenzone de Araujo Dasilio

Michelle Moreira

Patricia de Oliveira Penina

Pablo Gatt

ASSESSORIA EDITORIAL

Cecília Montibeller Oliveira

Daniele Drumond Neves

Helber Barcellos Costa

Karine Lourenzone de Araujo Dasilio

Pablo Gatt

ASSESSORIA CIENTÍFICA

Adam Lúcio Pereira

Cecília Montibeller Oliveira Daniele

Drumond Neves

Giselle Almeida Alves

Pablo Gatt

APRESENTAÇÃO

A Revista Científica Esfera Acadêmica Tecnologia é uma revista científica que tem como objetivo contribuir para o entendimento aprofundado das diferentes tecnologias na sociedade, mediante a divulgação de trabalhos de pesquisa e análises teóricas que possam subsidiar as atividades acadêmicas e a ação profissional em diferentes organizações.

Esta edição traz contribuições das áreas tecnológicas, reunindo estudos das diferentes Engenharias. Dessa forma, a Revista Científica Esfera Acadêmica Tecnologia, da Faculdade Multivix – Vitória, pretende contribuir com o estímulo à pesquisa e para divulgação e geração do conhecimento.

Boa leitura!

Conselho Editorial

Revista Científica ESFERA ACDÊMICA TECNOLOGIA

SUMÁRIO

ANÁLISE DE INADIMPLÊNCIA CLIENTES USANDO INTELIGÊNCIA DE NEGÓCIO E ANÁLISE DE DADOS - p. 07 - Richard Carlos de Oliveira, Fabio Goldner, Bruno Bastos Stoll

ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO NATURAL POR AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO - p. 27 - Ana Carolina Badke Casotti, Mirella da Fonseca Miranda da Silva.

ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM ELEVATÓRIAS PELO APRENDIZADO DE MÁQUINAS – p. 51 - Israel Schmittel Spirito, Thamirys Evellyn Rodrigues Neto da Silva, Kevyn Phillipe Gusmão, Mirella Gonçalves da Fonseca Miranda da Silva

PRINCIPAIS PATOLOGIAS NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA: IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS E REPAROS – p. 75 - Yan Carlos de Souza Santos Balduino, Rafael de Paula Cosmo 99

REDES INTELIGENTES DE ENERGIA – p. 95 - Matías Nicolás López, Stéfani Guitolini

ANÁLISE DE INADIMPLÊNCIA CLIENTES USANDO INTELIGÊNCIA DE NEGÓCIO E ANÁLISE DE DADOS

Richard Carlos de Oliveira¹,
Fabio Goldner²,
Bruno Bastos Stoll²

¹ Discente do curso de Engenharia de Computação do Centro Universitário Multivix

² Mestres, Docentes do Centro Universitário Multivix Vitória

RESUMO

Dentro das instituições financeiras é um processo comum a avaliação de perfil de clientes afim de ceder crédito. No entanto, existem muitas dificuldades na avaliação desses perfis, pois a análise por vezes é manual e demorada. Existem avanços nas avaliações automatizadas utilizando algoritmos de aprendizado de máquina. O presente artigo compara os resultados estatísticos de modelos preditivos desenvolvidos, com o objetivo de verificar sua performance e aderência utilizando uma base de dados pública e melhorar o desempenho da usabilidade do tratamento dos dados referentes a inadimplência de clientes. Para tanto, foi desenvolvido as etapas de análise de dados e inteligência de negócio, sendo que a apresentação de resultados foi inferida perfis de clientes afim de verificar a sua inadimplência ou não ao modelo.

PALAVRAS-CHAVE

Análise de dados; Análise estatística; Aprendizado de Máquina; Classificação; Inteligência de Negócio; Previsão.

ABSTRACT

Within financial institutions, evaluating customer profiles for the purpose of granting credit is a common process. However, there are many challenges in assessing these profiles, as the analysis is often manual and time-consuming. There have been advances in automated evaluations using machine learning algorithms. This article compares the statistical results of developed predictive models with the aim of verifying their performance and adherence using a public dataset, as well as improving the usability of data processing related to customer delinquency. To this end, data analysis and business intelligence steps were developed, and the results presentation inferred customer profiles to determine whether they were likely to default or not according to the model.

KEYWORDS

Data analysis; Statistical analysis; Machine learning; Classification; Business intelligence; Forecasting.

INTRODUÇÃO

Desde a idade antiga as instituições financeiras eram vistas com um olhar muito formalizado e burocrático, onde só os ricos podiam obter crédito e contas. No império romano essas instituições realizavam a troca de moedas, com o passar dos anos o mercado foi mudando e as funções também, com isso durante o século XV, criou-se o primeiro banco moderno o famoso *Banco di San Giorgio* em Gênova. Mas o banco como conhecemos, aquele que tem a função de troca papel-moeda só veio a aparecer em 1710 segundo (JEHNIFFER, 2021).

Com o passar dos anos essas instituições foram moldando a economia global, em 1929 tivemos a primeira grande crise mundial, onde várias instituições bancárias,

foram a falência, como principal causa, tivemos a especulação financeira e a superprodução. Após um tempo a economia conseguiu superar essa crise e em meados dos anos 1983 tivemos um segundo grande marco, a primeira utilização de serviços eletrônicos, o mercado avançou bastante com essas tecnologias, no entanto em 2008 tivemos outra grande crise que ficou conhecida com a bolha imobiliária, fez com que grandes instituições financeiras novamente fossem a falência, e o mercado teve que se renovar outra vez (GAZETA DO POVO, 2018).

Com isso as empresas do mercado de crédito vêm passando por uma reformulação nessa nova era de ouro dos mercados abertos, deixando de desenvolver agências físicas e passando para o mundo digital, onde o contato pode se dar através de uma simples mensagem de texto ou um simples acesso no sitio da empresa, desenvolvendo uma desformalização do mercado. Dessa maneira, as empresas descobriram um novo nicho econômico, que não era atendido anteriormente, pessoas que sequer tinha a possibilidade de solicitar um crédito, agora podem. Então visando sempre um aumento nos lucros de forma abrupta.

As empresas solicitam os dados de futuros clientes e fazem pesquisas em birôs de créditos¹, afim de extrair o histórico de compras daquele cliente, e partir daí liberar ou não crédito para a pessoa. No entanto, na maioria das vezes as análises são desenvolvidas de forma manual em uma planilha. Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo avançar nos estudos de técnicas automatizadas para classificação de clientes inadimplentes, utilizando algoritmo *Random Forest* em bases de dados desbalanceadas e como método de pré-processamento, foi utilizado o algoritmo de geração de dados sintético *SMOTE*.

Segundo Sharda, Delen e Turban, (2019) o *Business Intelligence* (BI) nasceu com a finalidade de apoiar as tomadas de decisões das empresas, munidos a conceitos computacionais como: Inteligência Artificial (IA), Análise de Dados, Computação em Nuvem e Aprendizado de Máquina se desenvolvem de forma orgânica munidos de técnicas matemáticas avançadas, na finalidade de automatizar essa análise de crédito. Com isso o grande volume de dados que as instituições financeiras têm, estão se tornando informação útil.

As instituições financeiras têm se tornado repositórios fantásticos de informação. A quantidade de dados gerados pela interação de clientes em seus canais digitais aumenta exponencialmente em volume e em

¹ <https://www.migalhas.com.br/depeso/344945/o-que-sao-biros-de-credito>

complexidade e, extrapola a fronteira de serviços financeiros. (GIOVANOLLI, 2017, p. 01).

1. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção apresenta os principais conceitos relacionados a preparação dos dados, aprendizagem de máquina, modelagem preditiva e avaliação e exibição do modelo.

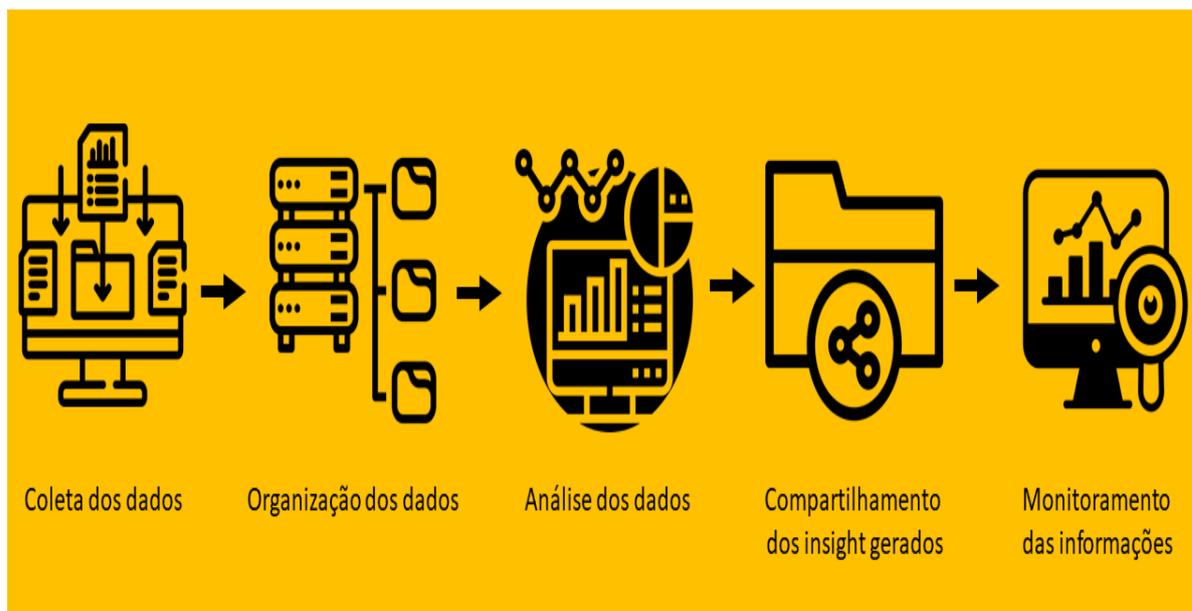
1.1 Business Intelligence

Esse termo pode ser visto como um processo agregado a tecnologia afim de analisar dados e visualizar as informações relevantes ao negócio, ajudando na tomada de decisão e mantendo o negócio sempre bem informado. Há inúmeras bibliografias com definições bem detalhadas sobre o tema, uma delas diz que:

O conceito de *Business Intelligence* com o entendimento de que é Inteligência de Negócios ou Inteligência Empresarial compõe-se de um conjunto de metodologias de gestão implementadas através de ferramentas de software, cuja função é proporcionar ganhos nos processos decisórios gerenciais e da alta administração nas organizações, baseada na capacidade analítica das ferramentas que integram em um só lugar todas as informações necessárias ao processo decisório (ANGELONI; REIS, 2006, p. 03).

O *Business Intelligence* ou Inteligência de Negócio, pode ser visto como cinco processos separados conforme a imagem a seguir:

Figura 1 - Etapas da análise usando o *Business Intelligence*



Fonte: Produzido pelo autor

1.2 Mineração de dados

A mineração de dados ou *data mining* consiste em um processo de análise crítica exploratória de um volume alto de dados. Nessa análise há uma busca por padrões consistentes ou de relacionamento sistemático entre as variáveis do processo. Gerando assim um padrão detectado de novos subconjuntos de dados (CETAX, 2020).

Faz parte dessa análise exploratória tecnologias de banco de dados estatística e inteligência artificial, segundo (AMO, 2003) a tarefa de mineração de dados é o que desejamos buscar nos dados, ou seja, que tipo de categorias de padrões ou de regularidades podemos retirar. Já as técnicas de mineração são métodos que nos garantem em como descobrir os padrões que nos interessam. Já segundo (ELMASRI e NAVATHE, 2002) as técnicas utilizadas devem ter os seguintes propósitos: previsão, identificação, classificação ou a otimização dos recursos.

1.3 Inteligência artificial

O termo está vinculado a dois campos de estudos um deles tem o propósito de desenvolver e empregar máquinas, afim de realizar as atividades que humanos desenvolvem de maneira automática, é obter uma melhor performance unido a uma eficiência. Um outro lado desse campo é o Aprendizado de Máquina, do inglês *Machine Learning (ML)*, que vem tornando empresas mais analíticas nesse campo da pesquisa. Trazendo à tona uma busca de padrões que pode ser aplicado em diversas tecnologias.

Segundo Barr e Feigenbaum (1981) a IA nasceu como uma vertente da ciência da computação em meados de 1956, com a finalidade de desenvolver sistemas inteligentes de computadores capazes de associar a inteligência humana. Segundo o pai da inteligência artificial e da ciência da computação Alan Turing ele diz que: “*Nós só podemos ver um pouco do futuro, mas o suficiente para perceber que há muito a fazer*”. Com o passar dos anos muitas tecnologias foram desenvolvidas através deste campo de pesquisa, algoritmos foram criados e recriados e guerras foram vencidas, sempre com um olhar para o futuro e vendo que tem muito a se desenvolver ainda.

Dentre as tecnologias que utilizamos hoje algumas delas nos ajudam a agendar um compromisso, ligar para alguém, colocar uma música para tocar, etc. como a Siri, Alexa e Assistente Google. Essas são tecnologias com fundamentos de IA, ou seja, tentam imitar o ser humano. Atrás de todo aquele algoritmo temos base matemática

fundamentada em estatística e álgebra linear, que nos ajudam a estudar pontos em grafos, utilizando matrizes e vetores como fundamento teórico básico e através disso criar padrões que possam ser analisados lexicamente através da linguística computacional podendo utilizar uma modelagem computacional e ontológica para percepção de palavras.

Uma outra parte da desse campo de pesquisa, está mais ligado a mecânica e eletrônica, pois tentam criar agentes físicos que sejam capazes de inferir no mundo real de maneira autônoma, ou seja, os robôs parecidos com o que podemos ver no filme “Eu, Robô” de 2004 com Will Smith, onde foi possível criar tal máquina.

1.4 Aprendizado de máquina

O Aprendizado de Máquina, do inglês *Machine Learning*, é considerado uma vertente da inteligência artificial que tem a finalidade de criar algoritmos ou utilizar técnicas capazes de criar modelos preditivos, utilizando a estatística pura e aplicada para relatar experiências no mundo real. O processo inicia-se com a observação dos dados, com o principal objetivo de buscar padrões e tomar as melhores decisões baseado em uma lógica, sem inferência de humanos no processo de aprendizado. O aprendizado se dá através de algoritmos pré ou pós programados, eles ditam as regras e o passo a passo para solucionar o problema que foi colocado (SHARDA, DELEN, TURBAN, 2019).

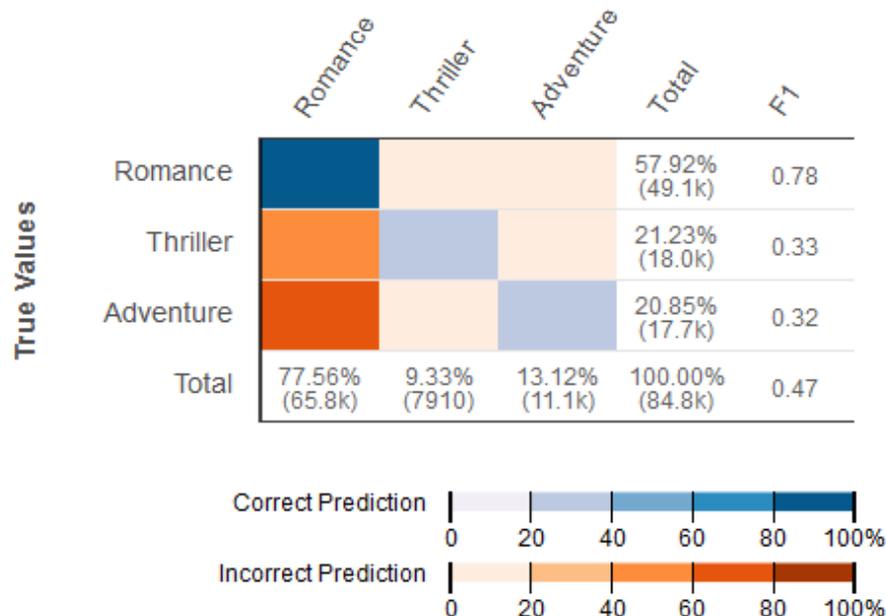
1.4.1 Algoritmos classificadores

Tais algoritmos são utilizados no aprendizado supervisionado, que tem a finalidade de prever uma classe associada dada um conjunto de dados de entrada. Esses algoritmos funcionam com o envio de pré-dados (conjunto de dados setado ou conhecido) para o seu treinamento, pois o algoritmo foi desenvolvido de forma genérica, podendo ser aplicadas em diferentes contextos e bases de dados. Munido de tais informações pode-se inferir que o conjunto terá somente duas ou várias classes, que são conhecidas como classificação binária ou multi-classe respectivamente (SILVA, 2020).

A classificação binária é usada para prever categorias de uma instância ao qual o dado pertence. Reparando que a entrada desse tipo é um conjunto de exemplos rotulados, onde cada rótulo contém um inteiro conhecido como binário (0 ou 1). Já o multi-classe é quando a categoria dos problemas do tipo de classificação é inferida

mais de duas classes. Um bom exemplo para analisar tais situações é quando montamos uma matriz de confusão, onde no exemplo abaixo você não precisa optar por um limite de pontuação para as previsões, tais classes são os próprios rótulos, conforme exemplificado na Figura 2.

Figura 2 - Matriz de confusão para classificadores multi-classes



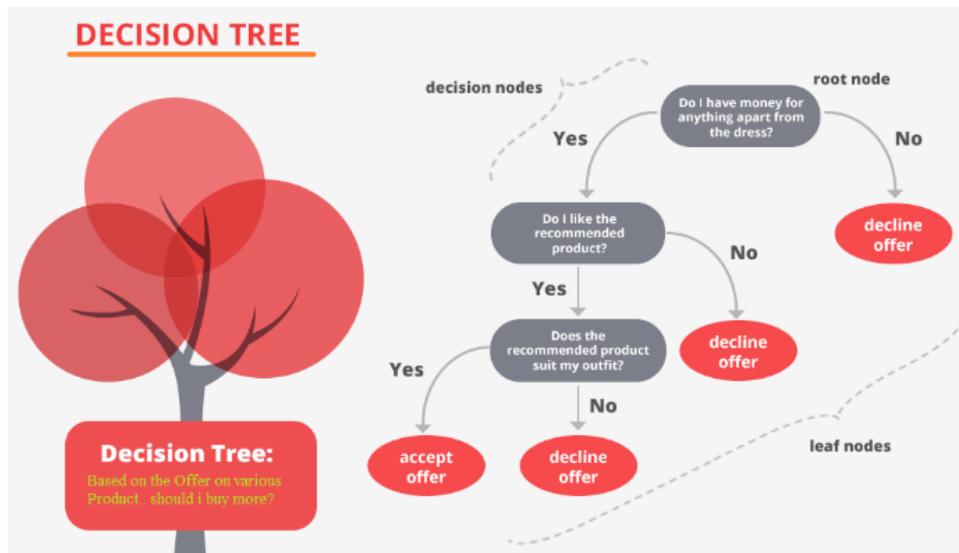
Fonte: (Amazon Web Services, Inc. and/or its., 2021)

1.4.2 Árvore de decisão

Segundo Sacramento (2021) esse termo / conceito é utilizados em vários campos de pesquisa, desde a Pesquisa Operacional que é voltada para a programação de processos até mesmo no aprendizado de máquina, onde é utilizado junto com técnicas de classificação ou até mesmo de regressão afim de chegar em um resultado estatisticamente melhor, analisando probabilisticamente nó à nó da árvore de decisão, qual tem o melhor custo, recurso ou possibilidades de eventos futuros.

Em suma uma árvore de decisão é como o próprio nome já diz uma árvore que pode conter vários ramos ou nós conhecidos como *decision nodes* que se ligam hierarquicamente. O nó principal é conhecido como nó raiz ou *root node* e os resultados são representados pelas folhas ou *leaf nodes*. Tendo como processo de criação do algoritmo de árvore de decisão a indução de dados para criar uma estrutura com várias ramificações partindo dos dados de entrada, pode se estimar os resultados mais prováveis, conforme apresentada na Figura 3:

Figura 3 - Funcionamento da Árvore de Decisão



Fonte: (SACRAMENTO, 2021)

Dentre os algoritmos existente o de árvore de decisão é o mais utilizado, pois é o que se assemelha a um fluxograma, onde pode-se coloca o processo em tal árvore e abrir ele em nós.

1.4.3 Random Forest

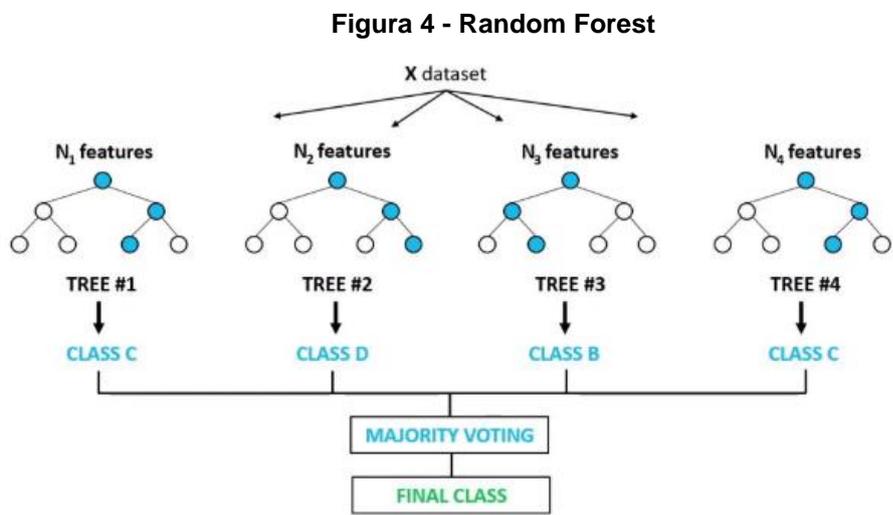
Tal algoritmo entra no rol de algoritmos de classificação onde foi desenvolvido com algumas melhorias feitas com base no algoritmo Árvores de Decisão, ele utiliza um método de reamostragem ou *bootstrap* associado a agregação.

O método de *bootstrap* se baseia em uma amostra aleatória $y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ cujos valores são realizações de variáveis aleatórias independentes e identicamente distribuídas Y_1, \dots, Y_n , cada uma possuindo função de densidade de probabilidade e função de distribuição denotadas por f e F , respectivamente. A amostra é usada para realizar inferências sobre alguma característica da população, genericamente denotada por θ , através de uma estatística T , cujo valor na amostra é t . (CRIBARI 2010, p. 33).

Essa consociação entre a reamostragem e agregação produz *bootstrap aggregation*, procedimento generalizado utilizado para retratar a variância dos algoritmos.

A primeira versão do algoritmo foi criada por Tin Kam Ho em 95, que utilizou o princípio do subespaço aleatório, onde ele criava uma discriminação estocástica para classificação proposta. Com o passar dos anos várias incrementações foram sendo feitas no algoritmo (OLIVEIRA, 2017).

Com ele é possível criar modelo de predição usando ML para apresentar resultados bem próximos do real. Pois com as várias árvores que ele cria a probabilidade de um ponto de convergência é muito concreta (ANDRADE, 2020), conforme apresentado na Figura 4.



Fonte: (ANDRADE, 2020)

1.5 Métricas de avaliação

Dentre as inúmeras métricas de avaliação a capacidade de prever um modelo, via análise estatística e até hoje a mais usual. Diversas ferramentas podem mensurar o poder de predição de um modelo e qual a precisão para a inserção de novos dados.

Tabela 1 - Faixas confiabilidade da acurácia

% de acurácia	Confiabilidade	Explicação	Risco para organização
0% até 30%	Baixa	Há pouca certeza de que os resultados encontrados podem gerar valor para a análise.	Elevado
30% até 80%	Média	Mesmo os níveis de sendo médios os valores ainda podem gerar bons <i>insight</i> para a organização, dependendo da sua aplicação.	Moderado
80% até 100%	Alta	No geral os valores demonstram validação para o negócio, podendo ser considerados como prováveis.	Menos sujeitos

Fonte: Produzido pelo autor

Segundo Fávero (2017), uma forma de demonstrar os resultados é através da acurácia que pode variar de 0 a 100%, no geral, quanto mais próximo dos 100% maior é a proximidade do resultado encontrado com o valor real, ela pode-se dividir em três grupos conforme a Tabela 1. Já quando se trata de modelo de classificação binário dividimos os resultados em quatro subcategorias (Matriz de confusão), como na tabela 2:

Tabela 2 - Siglas das métricas de avaliação

Sigla	Descrição
TP	Resultados positivos previstos corretamente como positivos.
TN	Resultados negativos previstos corretamente como negativos.
FN	Resultados positivos previstos erradamente como negativos.
FP	Resultados negativos previstos erradamente como positivos.

Fonte: Produzido pelo autor

Uma outra forma de avaliação é a utilização do coeficiente *kappa* que mostra a taxa de aceitação relativa é a taxa hipotética de aceitação, esse coeficiente varia conforme a tabela abaixo:

Tabela 3 – Valor do *Kappa*

Valor do coeficiente <i>KAPPA</i>	Nível de concordância
< 0	Não existe Concordância
0 – 0,20	Concordância Mínima
0,21 – 0,40	Concordância Razoável
0,41 – 0,60	Concordância Moderada
0,61 – 0,80	Concordância Substancial
0,81 – 1,0	Concordância Perfeita

Fonte: Produzido pelo autor

Outros métodos de avaliação de estatística são: precisão, sensibilidade, especificidade e p-valor, onde a precisão é dentre todas as classificações que foram dadas com positivas na matriz de confusão (valores positivos divididos pela soma do valores positivos mais os falsos positivos), onde o grau de porcentagem varia de 0% a 100% entre elas, esse método está estritamente ligado a acurácia, já a sensibilidade e a porcentagem dos valores positivos da matriz de confusão divididos pela soma dos valores positivos mais os falsos negativos, essa variação também vai de 0% a 100%. No que se trata da especificidade ela também é uma variação que vai de 0% a 100%

sendo que a sua avaliação é dada pelos valores positivos divididos pela soma dos valores negativos mais os falsos positivos do conjunto de dados. O p-valor que também é chamado de significância mostra se um teste foi correto ou foi errado, sendo que p menor que 0,05 seu teste é possível, já se ele for maior não se pode inferir resultados (FAVERO, 2017).

1.6 Linguagem R e bibliotecas (*SMOTE*)

A linguagem R é uma dessas novas linguagem de programação que é de código aberto, muito utilizada por cientistas de dados e estatísticos, ela não é limitada a sessões interativas. Os scripts desenvolvidos nela podem ser empacotados em bibliotecas e distribuídos de forma gratuita.

Essa linguagem é extremamente simples e existem vários manuais e fóruns pela internet mostrando novas funções e como puxar esses novos pacotes para os scripts, devido a essa facilidade, a linguagem vem sendo muito utilizada na análise de exploratória de dados. Uma das bibliotecas mais utilizadas para essas análises é a *SMOTE*² (*Synthetic Minority Oversampling Technique*) que é uma função usada classificação em dados desbalanceados, ou seja, ela usa uma técnica de sobre amostragem minoritária sintética de dados, com isso é possível inflar o conjunto de dados, aumentando a performance e aderência dos resultados em algoritmos preditivos (ZUMEL; MOUNT, 2020).

1.7 Avaliação de inadimplência

Para Sandroni (1999), a inadimplência é “a falta de cumprimento das cláusulas contratuais em determinado prazo” (p. 293), ou seja, quando não há uma quitação de operação no prazo combinado. Tem-se caracterizado como inadimplente, podendo então gerar uma cobrança dessa dívida por vários meios, sejam eles amigáveis e/ou judiciais.

Deve-se ressaltar que a cobrança será feita de forma justa e condizente com os direitos do consumidor, levando em consideração as determinações do Código de Defesa do Consumidor³.

² <https://www.rdocumentation.org/packages/DMwR/versions/0.4.1/topics/SMOTE>

³ https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/533814/cdc_e_normas_correlatas_2ed.pdf

3. METODOLOGIA E MÉTODO DA PESQUISA

Essa sessão contém os procedimentos e técnicas que foram utilizados para a comparação do modelo preditivo, assim como a base de dados, os softwares e pacotes que foram utilizados para manipulação dos dados e o passo a passo para obtenção dos resultados.

3.1 Definição

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado as etapas do processo de inteligência de negócio, que consiste em: preparar os dados; selecionar as variáveis; construir o modelo; testar o modelo; comparar os resultados do algoritmo e verificar a contribuição das variáveis para o modelo; retirar do modelo as não contribuem; melhorar o algoritmo; testar outra vez, até que se chegue em um modelo conciso e com uma acurácia alta e *Kappa*; após isso podemos inferir perguntas e definir perfis de clientes.

Durante a primeira parte é detalhado os métodos e técnicas da pesquisa, detalhando os programas usados as características da base que foi coletada, mostrando os procedimentos e funções utilizados para preparação dos dados e seleção das variáveis preditoras.

A seguir é detalhado os testes e simulações realizados para obtenção dos resultados utilizando o algoritmo de *Randon Forest*. Após isso será demonstrado os resultados estatísticos deste algoritmo com base no modelo criado. E, por fim, a inferência de resultados no modelo criado para prever se um cliente será inadimplente ou não com a sua conta.

3.2 Preparação dos dados

A base de dados foi obtida de um conglomerado de dados abertos da *University of California Irvine* – Universidade da Califórnia Irvine (UCI), que fica situada nos Estados Unidos da América do Norte, mais especificamente no estado da Califórnia. Essa Universidade coleta diversos dados e os distribui de forma aberta, sempre seguindo as normas da Lei de dados Abertos Americana.

Os dados retirados do site: <https://archive.ics.uci.edu/ml/machine-learning-databases/00350/> são de uma pesquisa objetiva de inadimplência de clientes de Taiwan, os dados dessa pesquisa foram liberados em 26 de janeiro de 2016, é a pesquisa foi realizada no ano antecedente. Os dados estão em um formato de .csv

(*Comma-separated values*), na descrição dos dados foi indicado que a característica dos conjuntos é multi-variável, contendo valores inteiros e reais, com total de 30.000 instâncias e 24 atributos e sem valores ausentes.

Tabela 4 - Descrição do conjunto de dados

Variável	Descrição
X0	Coluna chave
X1	Valor do crédito concedido (dólar NT)
X2	Gênero (1 = masculino; 2 = feminino)
X3	Educação (1 = pós-graduação; 2 = universidade; 3 = ensino médio; 4 = outros).
X4	Estado civil (1 = casado; 2 = solteiro; 3 = outros).
X5	Idade (ano).
X6	Estado de reembolso em setembro de 2005
X7	Situação de amortização em agosto de 2005
X8	Estado de reembolso em julho de 2005
X9	Situação de amortização em junho de 2005
X10	Estado de reembolso em maio de 2005
X11	Situação de amortização em abril de 2005
X12	Valor da fatura em setembro de 2005
X13	Valor da fatura em agosto de 2005
X14	Valor da fatura em julho de 2005
X15	Valor da fatura em junho de 2005
X16	Valor da fatura em maio de 2005
X17	Valor da fatura em abril de 2005
X18	Valor pago em setembro de 2005
X19	Valor pago em agosto de 2005
X20	Valor pago em julho de 2005
X21	Valor pago em junho de 2005
X22	Valor pago em maio de 2005
X23	Valor pago em abril de 2005

Fonte: (UCI Machine Learning Repository, 2009)

Munidos dos dados foi utilizado a ferramenta *Sublime Text 3* para conferir se os dados que foram baixados, realmente constavam dentro do arquivo, após isso foi utilizado outro software conhecido com *R Studio*⁴, versão 1.4.1106, para criação do modelo teste do mesmo. Vale ressaltar que essa ferramenta é um ambiente livre de desenvolvimento em linguagem R, muito utilizada para aprendizado de máquina e predição de medidas estatísticas nos campos de pesquisa econômicas e de engenharia.

Para iniciar a criação do modelo foi aberta a ferramenta e definido a pasta de trabalho, após isso foi instado os pacotes para o projeto e foi carregado os pacotes e feito o inserte da fonte de dados, figura a seguir:

⁴ <https://www.rstudio.com/>

Figura 5 – Bibliotecas e pacotes

```

9 # Definindo a pasta de trabalho
10 setwd("C:/Users/rcovv/OneDrive/Documentos/Arq")
11 getwd()
12
13 # Instalando os pacotes para o projeto
14 install.packages("Amelia")
15 install.packages("caret")
16 install.packages("ggplot2")
17 install.packages("dplyr")
18 install.packages("reshape")
19 install.packages("randomForest")
20 install.packages("e1071")
21
22 # Carregando os pacotes
23 library(Amelia)
24 library(ggplot2)
25 library(caret)
26 library(reshape)
27 library(randomForest)
28 library(dplyr)
29 library(e1071)
30
31 # Carregando o dataset
32 # Fonte: https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/default+of+credit+card+clients
33 dados_clientes <- read.csv("dados/dataset.csv")

```

Fonte: Produzido pelo autor

Após isso foi utilizado a função *view* para visualizar os dados dentro na ferramenta a função *dim* para mostrar quantidade dimensões dentro do conjunto através de um vetor atômico de dados e a função *a str* para visualizar os dados, conforme apresentada a Figura 6.

A função *summary* para mostrar o resumo das variáveis em forma estatística incluindo desvio padrão, média intervalos e percentis, conforme a figura 7. Dessa forma, é possível notar que os valores das variáveis eram todos inteiros.

Figura 6 – Visualização dos dados

```

> dados_clientes <- read.csv("dados/dataset.csv")
> view(dados_clientes)
> dim(dados_clientes)
[1] 30000 25
> str(dados_clientes)
'data.frame': 30000 obs. of 25 variables:
 $ ID : int 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 ...
 $ LIMIT_BAL : int 20000 120000 90000 50000 50000 50000 50000 100000 140000 20000
 $ SEX : int 2 2 2 1 1 1 2 2 1 ...
 $ EDUCATION : int 2 2 2 2 1 1 2 3 3 ...
 $ MARRIAGE : int 1 2 2 1 1 2 2 2 1 2 ...
 $ AGE : int 24 26 34 37 57 37 29 23 28 35 ...
 $ PAY_0 : int 2 -1 0 0 -1 0 0 0 0 -2 ...
 $ PAY_2 : int 2 2 0 0 0 0 0 -1 0 -2 ...
 $ PAY_3 : int -1 0 0 0 -1 0 0 -1 2 -2 ...
 $ PAY_4 : int -1 0 0 0 0 0 0 0 -2 ...
 $ PAY_5 : int -2 0 0 0 0 0 0 0 -1 ...
 $ PAY_6 : int -2 2 0 0 0 0 0 -1 0 -1 ...
 $ BILL_AMT1 : int 3913 2682 29239 46990 8617 64400 367965 11876 11285 0 ...
 $ BILL_AMT2 : int 3102 1725 14027 48233 5670 57069 412023 380 14096 0 ...
 $ BILL_AMT3 : int 689 2682 13559 49291 35835 57608 445007 601 12108 0 ...
 $ BILL_AMT4 : int 0 3272 14331 28314 20940 19394 542653 221 12211 0 ...
 $ BILL_AMT5 : int 0 3455 14948 28959 19146 19619 483003 -159 11793 13007 ...
 $ BILL_AMT6 : int 0 3261 15549 29547 19131 20024 473944 567 3719 13912 ...
 $ PAY_AMT1 : int 0 0 1518 2000 2000 2300 55000 380 3320 0 ...
 $ PAY_AMT2 : int 689 1000 1500 2019 36681 1815 40000 601 0 0 ...
 $ PAY_AMT3 : int 0 1000 1000 1200 10000 657 38000 0 432 0 ...
 $ PAY_AMT4 : int 0 1000 1000 1100 9000 1000 20239 581 1000 13007 ...
 $ PAY_AMT5 : int 0 0 1000 1069 689 1000 13750 1687 1000 1122 ...
 $ PAY_AMT6 : int 0 2000 5000 1000 679 800 13770 1542 1000 0 ...
 $ default.payment.next.month: int 1 1 0 0 0 0 0 0 0 ...

```

Fonte: Produzido pelo autor

Figura 7 - Sumário dos dados

```

> summary(dados_clientes)
  ID          LIMIT_BAL      SEX      EDUCATION      MARRIAGE      AGE
Min.   : 1   Min.   :10000   Min.   :1.000   Min.   :0.000   Min.   :0.000   Min.   :21
1st Qu.: 7501  1st Qu.: 50000   1st Qu.:11.000  1st Qu.:11.000  1st Qu.:11.000  1st Qu.:124
Median :15000  Median :140000   Median :2.000   Median :12.000  Median :12.000  Median :134
Mean   :15000  Mean   :167484   Mean   :11.604  Mean   :11.853  Mean   :11.532  Mean   :131
3rd Qu.:122500 3rd Qu.:240000   3rd Qu.:12.000  3rd Qu.:12.000  3rd Qu.:12.000  3rd Qu.:141
Max.   :30000  Max.   :1000000   Max.   :12.000  Max.   :16.000  Max.   :13.000  Max.   :175

  PAY_0      PAY_2      PAY_3      PAY_4      PAY_5
Min.   :-2.0000  Min.   :-2.0000  Min.   :-2.0000  Min.   :-2.0000  Min.   :-2.0000
1st Qu.:-1.0000  1st Qu.:-1.0000  1st Qu.:-1.0000  1st Qu.:-1.0000  1st Qu.:-1.0000
Median : 0.0000  Median : 0.0000  Median : 0.0000  Median : 0.0000  Median : 0.0000
Mean   :-0.0167  Mean   :-0.1338  Mean   :-0.1162  Mean   :-0.2207  Mean   :-0.2662
3rd Qu.: 0.0000  3rd Qu.: 0.0000  3rd Qu.: 0.0000  3rd Qu.: 0.0000  3rd Qu.: 0.0000
Max.   : 8.0000  Max.   : 8.0000  Max.   : 8.0000  Max.   : 8.0000  Max.   : 8.0000

  PAY_6      BILL_AMT1      BILL_AMT2      BILL_AMT3      BILL_AMT4      BILL_AMT5
Min.   :-2.0000  Min.   :-165580  Min.   :-69777  Min.   :-157264  Min.   :-170000
1st Qu.:-1.0000  1st Qu.: 3559  1st Qu.: 2985  1st Qu.: 2666  1st Qu.: 2327
Median : 0.0000  Median : 23282  Median : 23200  Median : 20089  Median : 19052
Mean   :-0.2911  Mean   : 51223  Mean   : 49179  Mean   : 47013  Mean   : 43263
3rd Qu.: 0.0000  3rd Qu.: 67091  3rd Qu.: 64006  3rd Qu.: 60165  3rd Qu.: 54506
Max.   : 8.0000  Max.   : 964511  Max.   : 963931  Max.   : 11664089  Max.   : 891586

  BILL_AMT6      PAY_AMT1      PAY_AMT2      PAY_AMT3      PAY_AMT4      PAY_AMT5      PAY_AMT6
Min.   :-81324  Min.   :-339603  Min.   : 0  Min.   : 0  Min.   : 0  Min.   : 0
1st Qu.: 1763  1st Qu.: 1256  1st Qu.: 1000  1st Qu.: 833  1st Qu.: 390
Median : 18105  Median : 17071  Median : 2100  Median : 2009  Median : 1800
Mean   : 40311  Mean   : 36872  Mean   : 5664  Mean   : 5921  Mean   : 5226
3rd Qu.: 50191  3rd Qu.: 49198  3rd Qu.: 5006  3rd Qu.: 5000  3rd Qu.: 4505
Max.   :927171  Max.   :961664  Max.   :1873552  Max.   :16684259  Max.   :896040

  PAY_AMT4      PAY_AMT5      PAY_AMT6      default.payment.next.month
Min.   : 0  Min.   : 0  Min.   : 0  Min.   : 0
1st Qu.: 296  1st Qu.: 252.5  1st Qu.: 117.8  1st Qu.:0.0000
Median : 1500  Median : 1500.0  Median : 1500.0  Median :0.0000
Mean   : 4826  Mean   : 4799.4  Mean   : 5215.5  Mean   :0.2312
3rd Qu.: 4013  3rd Qu.: 4031.5  3rd Qu.: 4000.0  3rd Qu.:0.0000
Max.   :621000  Max.   :426529.0  Max.   :1328666.0  Max.   :1.0000

```

Fonte: Produzido pelo autor

3.3 Análise, limpeza e transformação dos dados

Agora que os dados foram setados para dentro do programa e foram conferidos a suas quantidades e perfis, pode-se começar a principal etapa do processo, que é a análise, limpeza e transformação dos dados. Para tanto iniciamos com a remoção da primeira coluna chave pois para a análise essa coluna não traz nenhuma informação útil. Após isso foi renomeado a coluna 24 para inadimplente e verificado se possuía valores ausentes, durante essa observação não foi constatado valores ausentes, conforme o código abaixo:

Figura 8 - Análise dos atributos

```
45 # Removendo a primeira coluna ID
46 dados_clientes$ID <- NULL
47 dim(dados_clientes)
48 view(dados_clientes)
49
50 # Renomeando a coluna de classe
51 colnames(dados_clientes)
52 colnames(dados_clientes)[24] <- "inadimplente"
53 colnames(dados_clientes)
54 view(dados_clientes)
55
56 # Verificando valores ausentes e removendo do dataset
57 sapply(dados_clientes, function(x) sum(is.na(x)))
58 ?missmap
59 missmap(dados_clientes, main = "Valores Missing Observados")
60 dados_clientes <- na.omit(dados_clientes)
```

Fonte: Produzido pelo autor

Após isso foi renomeado e convertido os atributos de gênero, escolaridade, estado civil e idade para fatores categóricos, pois estavam com os atributos inconsistentes com formato de inteiros, no geral foi utilizado as funções *str*, *summary*, *cut* e *labels* para fazer essas mudanças, conforme as Figuras 9 e 10 e 11.

Figura 9 - Tratamento dos dados (a)

```
66 # Renomeando colunas categoricas
67 colnames(dados_clientes)
68 colnames(dados_clientes)[2] <- "Genero"
69 colnames(dados_clientes)[3] <- "Escolaridade"
70 colnames(dados_clientes)[4] <- "Estado_civil"
71 colnames(dados_clientes)[5] <- "Idade"
72 colnames(dados_clientes)
73 view(dados_clientes)
74
75 # Genero
76 view(dados_clientes$Genero)
77 str(dados_clientes$Genero)
78 summary(dados_clientes$Genero)
79 ?cut
80 dados_clientes$Genero <- cut(dados_clientes$Genero,
81                             c(0,1,2),
82                             labels = c("Masculino",
83                                       "Feminino"))
84 view(dados_clientes$Genero)
85 str(dados_clientes$Genero)
86 summary(dados_clientes$Genero)
```

Fonte: Produzido pelo autor

Figura 10 - Tratamento de dados (b)

```
88 # Escolaridade
89 str(dados_clientes$Escolaridade)
90 summary(dados_clientes$Escolaridade)
91 dados_clientes$Escolaridade <- cut(dados_clientes$Escolaridade,
92                                   c(0,1,2,3,4),
93                                   labels = c("Pos Graduated",
94                                             "Graduated",
95                                             "Ensino Medio",
96                                             "Outros"))
97 view(dados_clientes$Escolaridade)
98 str(dados_clientes$Escolaridade)
99 summary(dados_clientes$Escolaridade)
100
101 # Estado Civil
102 str(dados_clientes$Estado_civil)
103 summary(dados_clientes$Estado_civil)
104 dados_clientes$Estado_civil <- cut(dados_clientes$Estado_civil,
105                                   c(-1,0,1,2,3),
106                                   labels = c("Desconhecido",
107                                             "Casado",
108                                             "Solteiro",
109                                             "Outro"))
110 view(dados_clientes$Estado_civil)
111 str(dados_clientes$Estado_civil)
112 summary(dados_clientes$Estado_civil)
```

Fonte: Produzido pelo autor

Após essa parte foi convertido as variáveis de pagamento para o tipo fator, as variáveis de endividamento dos meses permaneceram categóricas com os valores reais e a variável de inadimplência continuou como binária (0 para não inadimplente e 1 para inadimplente). Em seguida foi feito uma amostragem estratificada e definido os dados de treinamento como subconjunto do conjunto de dados original, reparando que a porcentagem de um conjunto era maior que a do outro em 55%. Assim, evitando possíveis problemas, tais entraves expostos através da função *missmap* junto de uma equação para verificar se o novo conjunto tinha valores em branco ou nulos, na finalidade de retirar esses valores. Depois disso foi replicado o conjunto para se ter os dados originais e os dados de treinamento, e subsequente a essa parte foi utilizado a função *melf* para converte colunas em linhas e plotado um gráfico com a distribuição dos dados de treinamento pelos dados originais com as respectivas variáveis de inadimplência (0 e 1), conforme a Figura 12.

Figura 11 - Tratamento de dados (c)

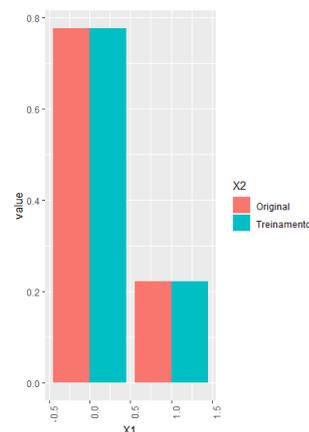
```

114 # Convertendo a variável para o tipo fator com faixa etária
115 str(dados_clientes$Idade)
116 summary(dados_clientes$Idade)
117 hist(dados_clientes$Idade)
118 dados_clientes$Idade <- cut(dados_clientes$Idade,
119                             c(0,30,50,100),
120                             labels = c("Jovem",
121                                       "Adulto",
122                                       "Idoso"))
123 view(dados_clientes$Idade)
124 str(dados_clientes$Idade)
125 summary(dados_clientes$Idade)
126 view(dados_clientes)

```

Fonte: Produzido pelo autor

Figura 12 - Categorização dos dados



Fonte: Produzido pelo autor

3.4 Modelo Aprendizado de Máquina

Foi decidido utilizar o algoritmo de *Random Forest* para a criação do modelo. Como um primeiro modelo foi utilizado os dados desbalanceados, código nas Figuras 13 e 14. Foi feita a matriz de confusão (*confusionMatrix*) e análise estatística dos dados que trouxe a: acurácia, IC, p-valor, taxa sem informação, sensibilidade, prevalência, especificidade, precisão balanceada, *kappa*, valor preditivo negativo e positivo.

Foi desenvolvido um segundo modelo, só que dessa vez com os dados balanceado, para tanto foi utilizando a função *SMOTE* Figura 14 rodado o algoritmo de *Random Forest* e verificando os resultados. Optou-se por fazer um terceiro modelo,

acrescentado a análise de variáveis influenciadoras no processo, onde notou-se que certas variáveis não influenciavam no processo e foi exibido os resultados, salvo o modelo e feito algumas previsões com base no modelo três.

Figura 13 - Código para classificação

```
207 # Construindo a primeira versão do modelo
208 randomForest
209 view(dados_treino)
210 modelo_v1 <- randomForest(inadimplente ~ ., data = dados_treino)
211 modelo_v1
212
213 # Avaliando o modelo
214 plot(modelo_v1)
215
216 # Previsão com dados de teste
217 previsoes_v1 <- predict(modelo_v1, dados_teste)
218
219 # Confusion Matrix
220 ?caret::confusionMatrix
221 cm_v1 <- caret::confusionMatrix(previsoes_v1, dados_teste$inadimplente, positive = "1")
222 cm_v1
223
224 # Calculando Precision, recall e F1-Score, métricas de avaliação do modelo preditivo
225 y <- dados_teste$inadimplente
226 y_pred_v1 <- previsoes_v1
227
228 precision <- posPredValue(y_pred_v1, y)
229 precision
230
231 recall <- sensitivity(y_pred_v1, y)
232 recall
233
234 F1 <- (2 * precision * recall) / (precision + recall)
235 F1
```

Fonte: Produzido pelo autor

Figura 14 - Uso algoritmo SMOTE

```
243 # Aplicando o SMOTE - SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique
244 # https://arxiv.org/pdf/1106.1813.pdf
245 table(dados_treino$inadimplente)
246 prop.table(table(dados_treino$inadimplente))
247 set.seed(9560)
248 dados_treino_bal <- SMOTE(inadimplente ~ ., data = dados_treino)
249 table(dados_treino_bal$inadimplente)
250 prop.table(table(dados_treino_bal$inadimplente))
```

Fonte: Produzido pelo autor

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos do processo estão descritos nesta parte, acompanhados de algumas análises. No que concerne a parte de tratamento da base de dados, foi verificado cada tipo de variável envolvida no processo é pareado os seus tipos. Foi trocado de variável booleana para categórico as variáveis de: gênero, escolaridade, estado civil, e idade. Ficando com 11888 registros de gênero masculino e 18112 registros do gênero feminino.

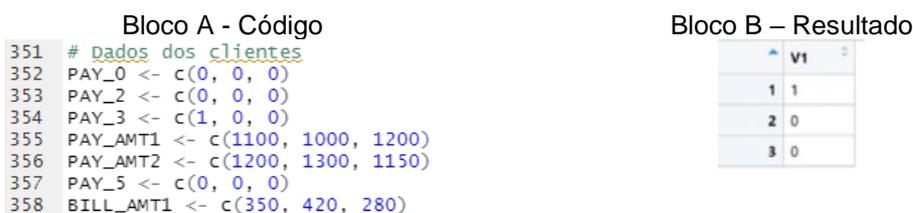
Na parte de escolaridade foi dividido em quatro classes (pós-graduados, graduados, ensino médio e outros) com isso a base ficou com 10585, 14030, 4917 e 123 respectivamente. Nessa parte apareceu 345 registros que não pertenciam a nenhuma dessas categorias. Na variável de estado civil também foi dividido em quatro (desconhecido, casado, solteiro, outros) ficam com 54, 13659, 15964 e 323 registros respectivamente. A variável de idade, foi escolhido dividir em três classes (jovem de 12-29, adulto de 30-59 e idoso acima de 60) ficam com 11013, 16718, 2269 registros respectivamente. Outras conversões foram feitas como a troca de variáveis para o tipo fator para os meses de pagamento. Foi verificado também a quantidade de registros com clientes inadimplente o que mostrou 23045 (77.71%) não inadimplentes e 6610 (22.28%) inadimplentes.

O primeiro modelo criado demonstra cerca de 0.81 de acurácia sendo que o seu p-valor ficou em $1.01e^{-15}$, ou seja, mesmo com valores em branco e desbalanceados a confiabilidade dos dados era alta. Já para o segundo modelo retirando os valores

em banco apresenta a nova acurácia mostrou um valor de 0.80 e um p-valor de 0.0001 e que mostra um resultado bem melhor que o segundo e analisando o kappa ficou entre regular e boa (0,4 – 0,6) diferente do primeiro modelo que ficou entre ruim e fraca (0,0 – 0,2). Já para o terceiro modelo analisa as variáveis dependente, onde constata quais variáveis de gênero, estado civil, idade e escolaridade não influencia no modelo. Então retirado essas colunas e rodado o modelo três, que mostrou uma kappa entre fraca e regular (0,3 – 0,4), ou seja, com uma acuraria alta. No entanto, o valor de p-valor aumentou e a sensibilidade ficou próximo de 0,91 diferente de todos os outros modelos que ficaram por volta de 0,7 e 0,8. Assim como a precisão foi de 0,83 para 0,84 no modelo três.

Foi inferido as características para o cliente, apresentada no Bloco A -Figura 15. Com isso pode-se notar que o cliente submetido ao modelo preditivo seria inadimplente enquanto os outros 2 não, apresentado no Bloco B – Figura 15.

Figura 15 - Dados de clientes



Fonte: Produzido pelo autor

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa estudou sobre o uso de dados na análise preditiva na detecção de clientes inadimplentes. Para isso, foram utilizadas técnicas de mineração de dados, bem como algoritmos classificadores e técnicas de pré-processamento para reamostragem de dados. Cada etapa do método de análise teve a sua relevante importância para a criação do modelo e exibição dos resultados, sendo possível concluir que os objetivos foram atendidos.

O uso advindo das técnicas apresentadas neste trabalho permite que análise preditiva em dados seja melhorada. Bem como a aplicação prática desta pesquisa poderia ser uma interface com o usuário de uma instituição financeira para avaliar o perfil do cliente que está solicitando um crédito e apresentar se ele será inadimplente.

6. REFERÊNCIAS

AFFILIATES., Amazon Web Services, Inc. and/or its. Classificação multiclasse. *In: AWS. Amazon Machine Learning Guia do desenvolvedor.* USA, 4 ago. 2016. Disponível em: https://docs.aws.amazon.com/pt_br/machine-learning/latest/dg/multiclass-classification.html. Acesso em: 15 out. 2021.

ANDRADE, António César de. **Como usar algoritmos baseados em árvore para aprendizado de máquina.** *In: Ciber Sistemas.* cibersistemas Games e Tecnologia. [S.l.]. 6 ago. 2020. Disponível em: <https://cibersistemas.pt/tecnologia/como-usar-algoritmos-baseados-em-arvore-para-aprendizado-de-maquina/>. Acesso em: 15 out. 2021.

ANGELONI, Maria T.; REIS, Eduardo S. **Business Intelligence como Tecnologia de Suporte a Definição de estratégias para melhoria da qualidade do ensino.** *In: Encontro da ANPAD 2006*, 2006, Salvador. XXX Encontro Nacional de Pós-Graduação em Administração, 2006. v. 1. p. 16 páginas.

ANONIMO, **TIPOS de análise de dados: Conheça os 4 principais!**, 2021. Disponível em: <https://www.fiveacts.com.br/tipos-de-analise-de-dados/>. Acesso em: 20/10/2021.

ANTONELLI, Ricardo Adriano. **Conhecendo o Business Intelligence (BI); Uma Ferramenta de Auxílio à Tomada de Decisão.** Revista TECAP, Nº 3, Ano 3, Volume 3, 2009. Disponível em: Acesso em 29 Set. 2021.

AMO, S. **Curso de data mining: programa de mestrado em ciência da computação.** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2003. Disponível em: www.deamo.prof.ufu.br/CursoDM.html. Acesso em: 01 Set. 2021.

BARR, Avron; FEIGENBAUM, Edward A. **The Handbook of Artificial Intelligence.** Stanford - California: HeurisTech Press, Department of Computer Science, Stanford University, volume 1, p. 20 – 25. 1981.

BECKER, K. ; TUMITAN, D. **Introdução à Mineração de Opiniões: Conceitos, Aplicações e Desafios.** *In: Joao Eduardo Ferreira. (Org.). Lectures of the 28th Brazilian Symposium on Databases.* 1ed.Pernambuco: CIN - UFPE, 2013, v. , p. 27-52

CARDOSO, Olinda Nogueira Paes e Machado, Rosa Teresa Moreira. **Gestão do conhecimento usando data mining: estudo de caso na Universidade Federal de Lavras.** Revista de Administração Pública [online]. 2008, v. 42, n. 3, Acessado: 20 out 2021, pp. 495-528. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0034-76122008000300004>>. Epub 02 Set 2008. ISSN 1982-3134. <https://doi.org/10.1590/S0034-76122008000300004>.

CARVALHO FILHO, José Adail. **Mineração de textos: análise de sentimentos utilizando Tweets referentes à Copa do Mundo 2014.** 2014. 44 f. TCC (graduação em Engenharia de Software) - Universidade Federal do Ceará, Campus Quixadá, Quixadá, 2014.

CETAX. Data Mining: O que é, conceito e definição. *In*: CETAX. **DATA ANALYTICS, BIG DATA, DATA SCIENCE**. São Paulo, 25 jul. 2020. Disponível em: <https://www.cetax.com.br/blog/data-mining/>. Acesso em: 7 set. 2021.

CONCEIÇÃO, Thayná; ROSSI, Rafael. **Desenvolvimento de uma Ferramenta para Análise de Sentimentos de Textos Publicados no Twitter** - Trabalho de Conclusão de Curso - Sistemas de Informação - UFMS/CPTL. 2017.

CRIBARI, Francisco. **Método Bootstrap**. 19 de abril de 2010. Disponível em: <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAAR8cAA/metodo-bootstrap>. Acesso em: 18 out. 2021.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Sistemas de banco de dados: fundamentos e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.

FÁVERO, Luiz Paulo Lopes; BELFIORE, Patrícia Prado. **Manual de análise de dados: estatística e modelagem multivariada com excel, SPSS e stata. [S.l: s.n.]**, 2017.

GIOVANOLLI, Regina. **O IMPACTO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA INDÚSTRIA FINANCEIRA. Provider IT & Business Solutions**. Julho, 2017. Disponível em: <https://provider-it.com.br/consultoria-de-ti/o-impacto-da-inteligencia-artificial-na-industria-financeira/>. Acesso em: 18 out. 2021.

JEHNIFFER, Jaíne. **Origem dos bancos: Surgimento das cédulas e dos empréstimos**. *In*: Investidor Sardinha. **ISardinha**. São Paulo, 12 fev. 2021. Disponível em: <https://investidorsardinha.r7.com/aprender/origem-dos-bancos-historia/>. Acesso em: 15 out. 2021.

JUNIOR, J. R. C. **DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA MINERAÇÃO DE TEXTOS**, 2007.

OLIVEIRA, RICARDO DANTAS DE. **OTIMIZAÇÃO DE ALGORITMOS PARA PREDIÇÃO DE DESEMPENHO ACADÊMICO DE ESTUDANTES EM AMBIENTES EDUCACIONAIS**. Orientador: Prof. Dr. Rafael Ferreira Leite de Mello. 2017. 33 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, RECIFE, 2017. Disponível em: <http://www.bcc.ufrpe.br/sites/ww3.bcc.ufrpe.br/files/Ricardo%20Dantas.pdf>. Acesso em: 18 out. 2021.

REDAÇÃO, **5 grandes crises econômicas que abalaram o mundo**. Gazeta do Povo, São Paulo, 14 de set. de 2018. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/mundo/5-grandes-crises-economicas-que-abalaram-o-mundo-atheycnptmjjl1dfe9srhaapl/>. Acesso em: 01 set. 2021.

ROMANI, Mateus Flach. **Comparação de algoritmos de aprendizagem de máquina na construção de modelos preditivos para rentabilidade de clientes bancários**. 2017. 50 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SACRAMENTO, Gabriel. **ÁRVORE DE DECISÃO: ENTENDA ESSE ALGORITMO DE MACHINE LEARNING**. *In*: TERA. **SOMOSTERA**. São Paulo, 12 jul. 2021.

Disponível em: <https://blog.somostera.com/data-science/arvores-de-decisao>. Acesso em: 15 out. 2021.

SANDRONI, P. **Novíssimo dicionário de economia**. São Paulo: Best Seller, 1999.

SHARDA, R., DELEN, D., & TURBAN, E. (2009). **Business Intelligence e Análise de Dados para Gestão do Negócio**. 4. Ed. Bookman Editora.

SILVA, DILANE RIBEIRO DA. Data Mining. **UMA VISÃO GERAL SOBRE MACHINE LEARNING: CLASSIFICAÇÃO**. In: OPER DATA. **OPER**. São Paulo, 13 ago. 2020. Disponível em: <https://operdata.com.br/blog/uma-visao-geral-sobre-machine-learning/>. Acesso em: 7 set. 2021.

YEH, I. C., LIEN, C. H. **comparisons of data mining techniques for the predictive accuracy of probability of default of credit card clients**. 2009. Disponível em: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/default+of+credit+card+clients>. Acesso em: 01 set. 2021.

ZUMEL, N.; MOUNT, J. Unsupervised methods. In: ZUMEL, N.; MOUNT, J. (Ed.) **Practical Data Science with R**. New York, NY: Ed. Manning, 2020.

ESTUDO DA SUBSTITUIÇÃO PARCIAL DO AGREGADO NATURAL POR AGREGADO RECICLADO EM ARGAMASSAS DE REVESTIMENTO

Ana Carolina Badke Casotti¹,
Mirella Gonçalves da Fonseca²

¹Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Multivix Vitória.

²Engenheira Civil, docente do Centro Universitário Multivix Vitória.

RESUMO

Apesar da significativa relevância do setor da construção civil para o Brasil, sua atividade é associada a elevados índices de perdas e desperdícios, instigando a busca por práticas sustentáveis que promovam impactos positivos nos âmbitos social, econômico e ambiental. O presente estudo avaliou a substituição parcial do agregado natural por agregado reciclado, proveniente de resíduos de construção e demolição (RCD), em argamassas de revestimento. Três diferentes misturas foram produzidas utilizando a proporção de 1:8:2 (cimento, agregado e cal): a Referência (com apenas areia fina), o Teste 1 (com substituição de 25% da areia fina por agregado reciclado) e o Teste 2 (com substituição de 50% da areia fina por agregado reciclado). Para a avaliação da influência dessas substituições, ensaios foram realizados tanto no estado fresco e endurecido, como o ensaio de consistência e o ensaio de resistência à compressão axial, respectivamente. Também realizou-se análises de aderência e deresistência ao risco. Em relação à resistência à compressão, após 28 dias de cura, o Teste 1 apresentou um aumento de 23,9%, enquanto o Teste 2 registrou um incremento de 23,6% em comparação à Referência. Constatou-se que houve um aumento geral na resistência à compressão das argamassas com a substituição parcial de agregados naturais por reciclados, além de uma maior resistência ao risco, porém, houve uma diminuição na aderência da argamassa ao porcelanato.

PALAVRAS-CHAVE

Construção Civil; Resíduo; Argamassa; Agregado.

ABSTRACT

Despite the significant relevance of the construction industry in Brazil, its activities are associated with high rates of losses and waste, prompting the search for sustainable practices that promote positive impacts in social, economic, and environmental spheres. This study evaluated the partial replacement of natural aggregate with recycled aggregate, derived from construction and demolition waste (CDW), in rendering mortars. Three different mixtures were produced using the 1:8:2 ratio (cement, aggregate, and lime): the Reference (with only fine sand), Test 1 (with a 25% replacement of fine sand by recycled aggregate), and Test 2 (with a 50% replacement of fine sand by recycled aggregate). To assess the influence of these substitutions, tests were conducted on both fresh and hardened states, such as the consistency test and the axial compressive strength test, respectively. Adhesion and scratch resistance tests were also performed. Regarding compressive strength, after 28 days of curing, Test 1 showed a 23.9% increase, while Test 2 recorded a 23.6% increase compared to the Reference. It was found that there was a general increase in compressive strength in the mortars with the partial replacement of natural aggregates by recycled ones, as well as higher scratch resistance; however, there was a decrease in the mortar's adhesion to porcelain tiles.

KEYWORDS

Construction industry; Waste; Mortar; Aggregate.

INTRODUÇÃO

Na última década, a construção civil apresentou grande crescimento no mercado,

impulsionado pela ampliação da concorrência e competitividade, as organizações do setor foram forçadas a sobrepor margens de lucro cada vez menores para manterem o preço final. Associado a este fator deparam-se com um cenário atual de clientes, cada vez mais exigentes, atentos à qualidade, custos, bem como ao despertar da consciência sustentável, impulsionando o setor produtivo a buscar cada vez mais, opções que reduzam os choques ambientais em seus processos (TRENTIN et al., 2020).

Nesse sentido, se ressalta que, a indústria da Construção Civil é de extrema relevância para o Brasil e um indicativo de crescimento socioeconômico. O setor, em 2022, representou cerca de 3,2% do PIB nacional, adicionalmente, foi responsável por cerca de 10% do total das oportunidades de emprego geradas no ano (CBIC, 2023).

Logo, o referido setor exerce uma função econômica e social essencial para o país. No entanto, vivencia um paradoxo, haja vista que no âmbito do meio ambiente, é comumente denominado como um grande vilão. Esse cenário impacta na cadeia de produção da construção civil, inclusive na escassez de controle consistente nos canteiros de obra, que geralmente produzem altos índices de perdas e desperdícios, resultando em significativa quantidade de resíduos, consequentemente sobrecarregam o descarte aumentando os custos de gerenciamento (PINZ; PALIGA; TORRES, 2020)

Conforme o Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2022, os municípios brasileiros recolheram mais de 48 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD), refletindo um aumento de 2,9% em relação ao ano anterior. A média de coleta por habitante foi de aproximadamente 227 kg por ano, sendo em grande parte composta por resíduos de construção e demolição descartados em vias e outros locais públicos (ABRELPE, 2022)

Conforme apontado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012), ainda que os resíduos gerados no setor da construção sejam considerados de baixa periculosidade, eles representam um grave problema em muitas cidades brasileiras e sobrecarregam os sistemas de limpeza pública dos municípios. Tais resíduos representam um valor de 50% a 70% de todo o volume de resíduos sólidos gerados, a depender do município.

Para um controle mais eficaz desse cenário desafiador, foi promulgada a Resolução de nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, com a finalidade de

disponibilizar, critérios e procedimentos para gestão dos resíduos da construção civil, normatizando as ações necessárias de modo a minimizar os enfrentamentos ambientais (CONAMA, 2002). A referida resolução sofreu alteração com a Resolução nº 348/2004, que limita os lugares de descarte dos RCD, e destaca que não poderão ser dispostos em áreas amparadas pela legislação, em locais de aterros urbanos, entre outros. Diante de um novo cenário, evidencia-se a necessidade de reduzir, reciclar e reutilizar esses resíduos gerados pelo setor da construção civil (CONAMA, 2004).

Desta forma, torna-se relevante adquirir competências e táticas para conciliar a escassez de insumos naturais, a preservação do meio ambiente, a destinação de resíduos e a sua reutilização em outros materiais, por meio de programas de gestão e controle do reuso de recursos materiais nos processos construtivos, de maneira sustentável (KNOB; BELLEI; BARBISAN, 2019).

O presente estudo, teve como objetivo avaliar os efeitos resultantes da substituição parcial do agregado natural pelo agregado reciclado em argamassas de revestimento, visando avaliar sua resistência (ensaio de compressão axial) quando comparado com argamassas convencionais. Além disso, foi realizada a caracterização do agregado e a discussão de suas características granulométricas, comparando-as com os agregados miúdos naturais.

Também foram investigadas a resistência ao risco (dureza) e a aderência das argamassas produzidas com agregado reciclado em comparação com as convencionais. Por este motivo, explorou-se conceitos relacionados às variáveis do estudo como agregados reciclados, argamassa de revestimentos, reciclagem e reuso.

Diante do contexto apresentado, este trabalho teve como justificativa o atendimento às diretrizes da Resolução nº 307 da CONAMA e a busca pela sustentabilidade no âmbito social, econômico e ambiental. Destaca-se que a substituição do material agregado na argamassa de revestimento, produto amplamente utilizado na indústria da construção civil, se configura como alternativa para mitigar o impacto gerado pelo setor em questão.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Agregados

Os agregados compõem cerca de 70% do volume total dos concretos e argamassas, assumindo, portanto, um papel essencial na determinação do custo desses materiais. Adicionalmente, proporcionam uma redução na retração das misturas formadas por cimento e água, além de aumentarem a resistência ao desgaste superficial de argamassas e concretos (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2002).

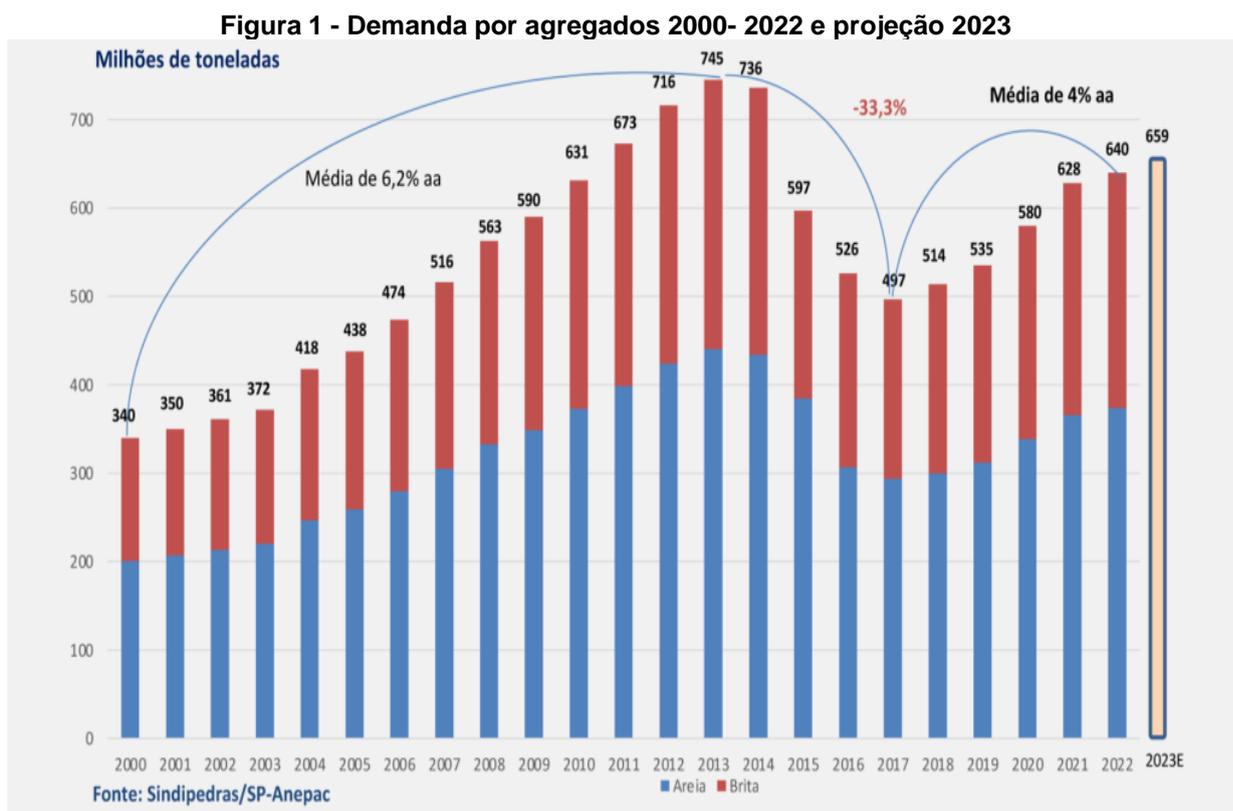
Os agregados desempenham um papel fundamental na sociedade como matérias-primas minerais, eles são materiais granulares com tamanhos definidos e são amplamente empregados em pavimentação, lastros de ferrovias, projetos geotécnicos, concretos, argamassas e diversas construções (BAUER, L. A F., 2019). No contexto internacional, nos livros clássicos sobre materiais de construção, os agregados são geralmente vistos como um recurso praticamente inesgotável, embora não sejam renováveis por natureza. No entanto, em várias regiões ao redor do mundo, o esgotamento de depósitos de agregados é uma realidade observada em alguns locais (BAUER, L. A F., 2019).

A categorização desses materiais é feita com base na granulometria, origem e massa. Quanto à granulometria, eles são divididos em miúdos (areia e pó de pedra) e graúdos (brita e seixo rolado), de acordo com o tamanho. Tratando-se da origem, podem ser naturais (provenientes de fontes naturais, como areias e seixos) ou artificiais (produzidos por processos industriais, como a argila expandida). Quanto à massa, os agregados podem ser leves (baixa densidade), normais (britas, seixos e areias) ou pesados (alta densidade) (LISBOA, Ederval S.; ALVES, Edir S.; MELO, Gustavo H. A G, 2017). Vale ressaltar, que os agregados graúdos possuem dimensões entre 4,75 a 75 mm, já os agregados miúdos possuem dimensões de 0,075 a 4,75 mm (BAUER, L. A F., 2019).

A granulometria desempenha um papel crucial na produção de materiais cimentícios. De acordo com Angelim et al. (2003), a distribuição granulométrica da areia, por exemplo, impacta a trabalhabilidade e o consumo de aglomerantes e água na argamassa. Somado a isso, no revestimento final, afeta características como fissuração, resistência de aderência, entre outros aspectos, contribuindo para o

desempenho global.

Segundo informações da ANEPAC (2022), no Brasil, a demanda por agregados totalizou 640 milhões de toneladas em 2022, destes, 374 milhões de toneladas eram de areia e 266 milhões de toneladas eram de brita. Prevê-se um aumento de 3% para 2023. O gráfico apresentado na Figura 1 ilustra a evolução da demanda ao longo dos anos:



Fonte: Site ANEPAC (2022)

Bauer, 2019 afirma que a maior parcela da produção de areia é utilizada na fabricação de argamassas e concretos. Dado que a produção de areia e brita é muito semelhante, pode-se estimar que cerca de dois terços da produção se destinam a materiais cimentícios, enquanto um terço é direcionado para a pavimentação.

Pela definição da NBR 9935 (ABNT, 2011), a areia é um agregado miúdo que tem origem em processos de desintegração de rochas, seja de forma natural ou artificial, e também pode ser produzida em processos industriais. Ela é categorizada como areia natural quando é o resultado da ação de agentes da natureza, areia artificial quando é produzida por processos industriais, areia reciclada quando é obtida por meio de processos de reciclagem e areia de britagem quando é originada da cominuição mecânica de rochas.

1.2 Agregados Reciclados

Até recentemente, a produção geralmente usava matérias-primas não renováveis de origem natural sem problemas devido à abundância de recursos naturais, falta de consciência sobre a sustentabilidade e menos pessoas envolvidas na sociedade de consumo. No entanto, a composição dos resíduos varia de acordo com o tipo de obra, a técnica de construção, a fase do processo construtivo e as características socioeconômicas da região. (TRENTIN et al., 2020).

De acordo com Lima et al. (2023) em atividades que visam o reuso ou a reciclagem, a propriedade dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) torna-se fundamental. Tratando-se da composição de Ludovino, Silva e Sousa (2019), ressalta-se que a composição média dos resíduos produzidos no canteiro de obra, é de cerca de 64% de argamassa, cerca de 30% de componentes de vedação (telhas, blocos...), além de 6% de materiais diversos, como concreto, pedra, areia, entre outros.

Mediante os problemas gerados, observa-se que atualmente, um instrumento relevante utilizado, visando minimizar o problema dos resíduos sólidos na construção civil é a criação de programas de gestão de resíduo para alcançar o objetivo das disposições da Resolução 307 (CONAMA, 2002), que estabelece, para a construção civil, quatro classes de resíduos, que deverão ter tratamentos distintos, apresentadas no Quadro 1, a seguir:

Quadro 1: Classes de Resíduos da Construção Civil

Tipo de RCC	Definição	Exemplos	Destinações
Classe A	Resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados	a) Resíduos de construção, demolição, reformas e pavimentação, incluindo solos de terraplanagem; b) Resíduos de construção, demolição, reformas e reparos de edificações (blocos, argamassa e concreto); c) Resíduos de peças pré-moldadas em concreto do canteiro de obras (blocos, tubos, meios-fios...)	Devem ser reutilizados, reciclados ou dispostos em aterros de resíduos de construção
Classe B	Resíduos recicláveis para outras destinações	Plásticos, metais, papelão, vidros, madeiras	Devem ser reaproveitados, reciclados ou direcionados para locais de armazenamento temporário, com disposição que permita seu uso futuro ou reciclagem
Classe C	Resíduos sem soluções tecnológicas ou econômicas que permitam sua reciclagem	Produtos provenientes do gesso	Deverão ser armazenados, transportados e destinados de acordo com as normas técnicas

Classe D	Resíduos perigosos gerados em processos construtivos ou aqueles contaminados provenientes de reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais etc.	Tintas, solventes, óleos	Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados de acordo com regulamentos técnicos específicos
----------	--	--------------------------	---

Fonte: Adaptado de Cruz e Diniz (2021, p. 4).

Essa classificação possibilita um manejo adequado dos resíduos e promove seu uso como material alternativo na construção civil. Além disso, proíbe sua disposição em aterros de resíduos domésticos ou em áreas abandonadas, com a gestão atribuída à administração municipal, conforme a Resolução 307/2002 do CONAMA (CRUZ, DINIZ, 2021).

A produção de agregados reciclados, mais econômica em relação aos agregados naturais, é uma nova alternativa sustentável para aproveitar resíduos na construção civil, que geram excelentes propriedades e estabelece uma relação entre custo, consumo e sustentabilidade (PINZ; PALIGA; TORRES, 2020). A ampliação do setor da indústria e as novas tecnologias levaram a problemas de resíduos nos canteiros de obras, que acumulam entulhos, como restos de argamassa, concreto, materiais cerâmicos, materiais metálicos, madeira, vidro e materiais plásticos, destacando a necessidade de sustentabilidade e redução de resíduos na construção civil (SOUSA, 2020).

Essencialmente, argamassas, concretos e materiais cerâmicos, são encontrados em maior volume, e sua utilização como agregados para confecção de blocos de concreto e argamassa de revestimentos, está sendo estudada como uma forma de conter a problemática abordada. Faz-se desta forma o reaproveitamento, reciclando esses resíduos que são comumente encontrados nas obras (SOUSA, 2020).

A construção civil tem se aproximado do conceito de desenvolvimento sustentável, promovendo mudanças na gestão de recursos, investimentos, inovações tecnológicas e institucionais, com uma perspectiva sistêmica (SOUSA, 2020). A utilização de agregados reciclados e a reutilização de materiais oriundos de sobras na construção, cumpre as diretrizes da Agenda 21, o que contribui para a transformação de resíduos em novos materiais e reduz a extração de recursos do meio ambiente (PINZ; PALIGA; TORRES, 2020; STREB; GAUER, 2022).

Ao refletir sobre a abordagem proposta, verifica-se que a incorporação de agregados miúdos reciclados na produção de argamassa de revestimento tem sido foco de debates em estudos recentes. Em concordância com as pesquisas citadas anteriormente e na pesquisa realizada para a 5ª edição do ABM WEEK em 2019, o uso parcial de agregado reciclado como substituto do agregado miúdo natural parece ser uma alternativa sustentável viável, com evidências de melhoria no desempenho das argamassas produzidas (MACEDO et al., 2019).

O estudo de Cruz e Diniz (2021) verificou que a adição de agregados reciclados à argamassa de revestimento atendeu aos padrões mínimos das normativas nacionais. As porcentagens mais comuns de agregados reciclados nos estudos foram 10%, 20%, 25% e 50%.

De acordo com Andrade et al. (2022), o uso de agregados reciclados, com até 50% de substituição, demonstrou resultados satisfatórios em várias propriedades, tanto no estado fresco quanto no endurecido. Além disso, Fabris et al. (2018) constatou que em seu estudo com ensaios de 25% e 50% de agregados reciclados alcançaram conclusões positivas em relação às propriedades da argamassa, especialmente na resistência à compressão, com resultados similares ou superiores aos da argamassa convencional.

1.3 Argamassas de Revestimentos

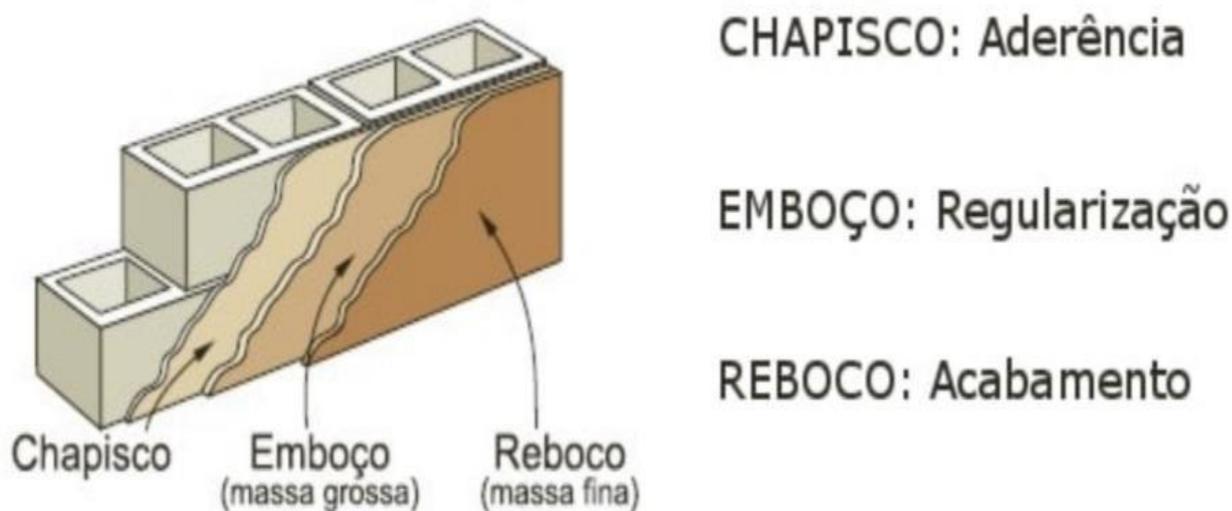
No que diz respeito a argamassa de revestimento, sua definição é estabelecida pelas disposições da NBR 13529 (ABNT, 2013), trata-se de material composto por cimento (aglomerante inorgânico), água e certa quantidade de agregado miúdo, que forma uma mistura homogênea. Esses elementos compõem materiais de diversas características e apresentam trabalhabilidade, consistência, aderência e outros atributos importantes.

A argamassa de revestimento é versátil e serve para diversas aplicações, como o chapisco, usado como base de preparo para outras camadas e proporciona melhorias na aderência. Ela proporciona vedação e regularização das camadas e, desta forma, propicia uma maior aderência na superfície, devido suas especificidades que reduzem a infiltração, entre outros benefícios e funções (CRUZ, DINIZ, 2021).

Para regularizar a superfície, utiliza-se o emboço, que deve ter consistência média de 15mm a 25mm e prepara a superfície para receber outras camadas como o porcelanato ou o reboco, e além disso contribui para a vedação. Quanto ao reboco,

consiste em uma camada fina de no máximo 5 mm, cuja finalidade é acobertar o emboço e receber revestimentos decorativos, como a pintura (LIMA et al., 2023). Na Figura 2 é possível observar a aplicação dessas camadas:

Figura 2 - Camadas de revestimento de argamassa e suas funções



Fonte: Site Escola Engenharia (2019)

Portanto, as finalidades essenciais da argamassa de revestimento estão relacionadas à função de proteger a alvenaria, abrangendo características como a vedação, o isolamento térmico e outras propriedades fundamentais para a sua aplicação adequada, incluindo trabalhabilidade, adesão inicial e permeabilidade (CRUZ, DINIZ, 2021).

A trabalhabilidade é uma propriedade fundamental no estado fresco da argamassa, que garante a qualidade da aplicação, regularidade e adesão à base, bem como a ligação entre seus elementos. O nível de consistência é um indicador da trabalhabilidade, relacionado à viscosidade e elasticidade de fluidez do material. Tal avaliação permite delimitar a quantidade de água a ser acrescida, para alcançar escoamento desejado e obter argamassas frescas (CAPELIN et al., 2020).

As argamassas podem apresentar tipificações como: ser de cal, cimento ou misto, dependendo do material ligante que será usado. Ressalta-se que as argamassas direcionam-se para: “Assentamento Estrutural; Assentamento Convencional; Assentamento de Acabamentos”. Somado a isso, as funções de sua utilização centram-se em: “Suportar esforços mecânicos, unir blocos da alvenaria, fazer a vedação das juntas; Unir os blocos da alvenaria e vedar juntas; Unir elementos

de acabamento ao substrato” (KNOB; BELLEI; BARBISAN, 2019, p. 118).

O desempenho e as propriedades das argamassas de revestimento em condição fresca são impactados de maneira direta pela quantidade de água, pela granulometria e forma dos fragmentos usados na mistura (LIMA et al., 2023). Um aspecto importante, é que a qualidade dos revestimentos de argamassa depende das propriedades da argamassa, tanto no estado fresco quanto endurecido. O correto ajuste das características da argamassa no estado fresco é essencial para que o revestimento exerça suas funções quando endurecido (CAPELIN et al., 2020).

A trabalhabilidade da argamassa no estado fresco é essencial e depende de consistência e plasticidade. Compreender o desempenho das argamassas é crucial, uma vez que as imperfeições ocasionam a perda de seus atributos (CAPELIN et al., 2020). Por sua vez, Knob et al., 2019 afirma que no estado fresco, as argamassas exibem diversas propriedades, como trabalhabilidade, retenção de água, aderência inicial e retração na secagem.

Já no estado endurecido, destacam-se propriedades como aderência, capacidade de absorver deformações, resistência mecânica, permeabilidade e durabilidade. As propriedades da argamassa refletem o desempenho do recobrimento, mediante tal resultado pode-se avaliar de forma mais significativa as aplicações que exigem maior atenção.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Obtenção do Agregado

O agregado utilizado como material de pesquisa do presente trabalho foi doado pela AB Soluções Ambientais. Essa empresa está localizada no Espírito Santo e é uma instalação dedicada à reciclagem, triagem e melhoria dos resíduos provenientes da construção e demolição.

Nesse contexto, esses resíduos são triados e processados para separar diversos materiais recicláveis, a fim de reduzir o desperdício e promover a sustentabilidade na indústria da construção. Para tais processos, é utilizado um maquinário específico, pode-se citar o equipamento móvel de britagem e o equipamento de separação de agregados, mostrado na Figura 3:

Figura 3 - Equipamento de separação de agregados



Fonte: A Autora (2023)

A quantidade de agregado reciclado doado pela empresa foi de aproximadamente 25 kg. Na figura 4, pode-se analisar de forma mais detalhada as características desse agregado.

Figura 4 - Agregado reciclado doado



Fonte: A Autora (2023)

2.2 Análise Granulométrica

Para a realização da pesquisa de substituição parcial, as características granulométricas do agregado reciclado precisavam assemelhar-se às da areia fina comprada em uma loja de materiais de construção em Vitória, Espírito Santo. Desta forma, a fim de analisar a granulometria do resíduo reciclado doado, procedeu-se com o peneiramento de aproximadamente 5 kg da amostra, de acordo com a norma NBR

NM 248 da ABNT, de 2003.

A NBR NM 248 (ABNT, 2003), conceitua a série de peneiras normais e intermediárias como “conjunto de peneiras sucessivas caracterizadas pela abertura da malha”, como é mostrado na Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 - Série de peneiras

<i>Série Normal</i>	75 mm	–	–	37,5 mm	–	–	19 mm	–	9,5 mm	–	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm	600 µm	300 µm	150 µm
<i>Série Intermediária</i>	–	63 mm	50 mm	–	31,5 mm	25 mm	–	12,5 Mm	–	6,3 mm	–	–	–	–	–	–

Fonte: Adaptado de NBR NM 248 (ABNT, 2003, p.2)

Neste contexto, duas frações principais desempenharam um papel crucial: A primeira fração, de agregado graúdo, composta por partículas com diâmetro igual ou superior a 4,75 mm, e a fração de agregado miúdo, composta por partículas com diâmetro inferior a 4,75 mm. A segunda fração, de interesse para ser utilizada em substituição da areia, é particularmente relevante devido à influência significativa que a composição granulométrica do agregado exerce sobre as propriedades futuras das argamassas.

2.3 Preparação da Argamassa de Revestimento

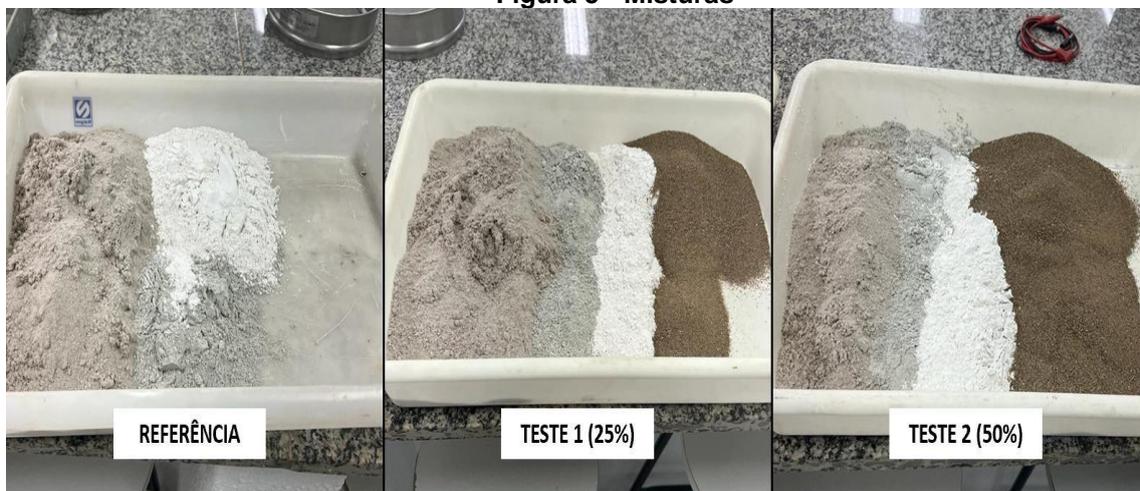
Para a produção de uma argamassa, foram utilizados insumos como a cal hidratada CH III e o cimento CP III 40 RS e a areia fina, adquiridos em uma loja de materiais de construção local. Além disso, a água usada no presente trabalho tem procedência da rede pública de distribuição.

O traço utilizado nesta pesquisa possui a proporção de 1:8:2 (cimento, areia e cal), a quantidade de água nas misturas foi determinada pelo ensaio de consistência da argamassa, feito com a massa fresca. Em concordância com a ABNT NBR 13276, de 2016 recomenda-se adotar a água necessária para o índice de consistência de 260 ± 5 mm.

Com o propósito de avaliar o impacto do agregado reciclado nas características das argamassas de revestimento, foram empregadas três diferentes misturas (Figura 5): a Referência, sendo a mistura tradicional (sem substituição), o Teste 1 no qual 25% da areia fina (agregado natural) foi substituída pelo agregado reciclado, e por fim o

Teste 3, no qual 50% da areia fina (agregado natural) foi substituída pelo agregado reciclado.

Figura 5 - Misturas



Fonte: A Autora (2023)

3. ENSAIOS

3.1 Ensaio de Consistência

O ensaio de determinação do índice de consistência foi realizado seguindo todos os passos de acordo com os padrões estabelecidos pela NBR 13276 (ABNT, 2016). Verificou-se o quanto a argamassa se espalhou, medindo três diâmetros com o paquímetro e realizando a média destas três medidas, a fim de verificar se o índice de consistência obtido se encaixa nas determinações normativas. Na Figura 6, pode-se observar a realização do ensaio de consistência realizado em laboratório:

Figura 6 - Ensaio de Consistência



Fonte: A Autora (2023)

3.2 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

Em concordância com as normas estipuladas pela ABNT NBR 13279 de 2005, procedeu-se à ruptura de 3 corpos de prova para cada mistura (referência, teste 1 e teste 2). Os ensaios foram conduzidos 14 e 28 dias após a confecção dos moldes. O desmolde aconteceu após 24 horas da confecção, assim, os corpos de prova foram submersos em água, onde permaneceram em processo de cura até a data dos ensaios.

O ensaio de compressão axial foi realizado em uma prensa hidráulica manual, demonstrada na Figura 7, na qual a carga é aplicada manualmente através de um injetor, utilizando-se de transdutor de pressão. Além disso, um indicador digital é usado para medir a carga resultante em tf (tonelada-força).

Figura 7 - Prensa Hidráulica Manual



Fonte: A Autora (2023)

4. ANÁLISE DA ADERÊNCIA

Após o período de cura de 28 dias, realizou-se uma análise visual da aderência de revestimento cerâmico aplicado sobre a argamassa no estado fresco, ou seja, foi examinada a capacidade da argamassa em manter esse revestimento adequadamente aderido. Adicionalmente, procedeu-se com uma análise do

comportamento da argamassa em relação à resistência a riscos ou danos superficiais.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise Granulométrica

A granulometria dos agregados reciclados pode variar de acordo com os materiais de construção presentes nos resíduos reciclados e com o processo de reciclagem utilizado. Tais agregados podem conter uma ampla variedade de tamanhos de partículas devido à natureza heterogênea dos resíduos de construção, o que contrasta com agregados naturais, que geralmente têm uma granulometria mais uniforme.

As diferenças na granulometria dos agregados reciclados podem influenciar as propriedades dos materiais em que são utilizados, como concreto e argamassa. Portanto, é fundamental realizar ensaios e estudos específicos para entender como a granulometria dos agregados reciclados pode afetar o desempenho e as características finais dos produtos de construção. Para uma melhor análise da granulometria, foi feito o peneiramento e obteve-se o resultado mostrado (Figura 8):

Figura 8 - Série de peneiras (agregado miúdo reciclado)



Fonte: A Autora (2023)

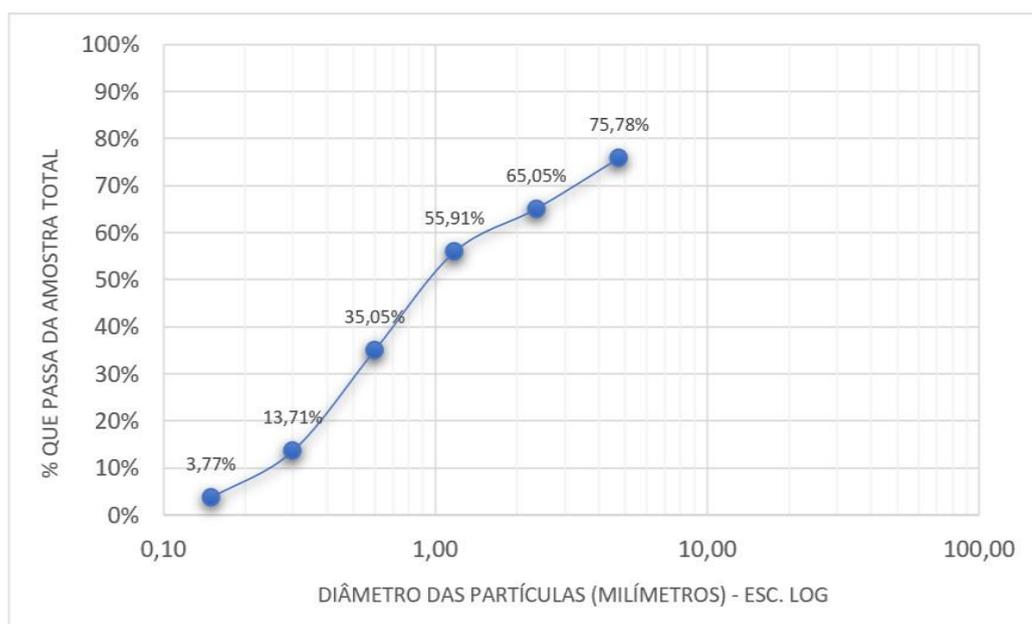
Nesse contexto, observa-se na Tabela 2, a quantidade de amostra retida em cada peneira do conjunto que caracteriza o agregado miúdo, que é de interesse para ser usada em substituição à areia fina e calculou-se a porcentagem que passa, a fim de fazer a curva granulométrica (Gráfico 1) do agregado a ser utilizado.

Tabela 2: Amostra Retida

AMOSTRA				
Abertura das peneiras (mm)	Massa Retida(g)	Média Retida(%)	Média Retida Acumulada (%)	% que passa da amostra total
4,75	1196	24,22%	24,22%	75,78%
2,36	530	10,73%	34,95%	65,05%
1,18	451	9,13%	44,09%	55,91%
0,6	1030	20,86%	64,95%	35,05%
0,3	1054	21,34%	86,29%	13,71%
0,15	491	9,94%	96,23%	3,77%
Fundo	186	3,77%	100,00%	0,00%
Total	4938	100%	-	-
Módulo de Finura (MF)			3,51%	

Fonte: A Autora (2023)

Gráfico 1: Curva Granulométrica (agregado reciclado)



Fonte: A Autora (2023)

A NBR 6502 (ABNT, 1995), afirma que as areias finas possuem grãos com diâmetros entre 0,06 mm e 0,2 mm. Já de acordo com a ASTM D2487 (2006), as areias finas têm diâmetros entre 0,075 mm e 0,425 mm. Além disso, o módulo de finura (MF) dessas areias situa-se na faixa entre 1,55 e 2,2 (zona utilizável inferior), segundo a NBR NM 248 (ABNT, 2003).

Destaca-se que o MF do agregado reciclado é superior à MF da areia fina, ou seja, indica que o tamanho médio das partículas desse agregado é maior do que o da areia, evidenciando a necessidade de peneiramento.

É possível observar, pelo Gráfico 1, a heterogeneidade da granulometria do agregado reciclado. Após o peneiramento, somente 35,05% de toda amostra ficou retida nas peneiras de abertura 0,3 mm, 0,15 mm e no Fundo, o que confirma a necessidade de peneirar, gerando um acréscimo de trabalho no processo e um baixo rendimento. Além disso, vale ressaltar que a presença de material argiloso no fundo, em excesso, pode afetar a plasticidade e a coesão da mistura.

Por fim, a cor mais escura do agregado reciclado em comparação com a areia sugere a presença de certos elementos ou minerais, como óxidos de ferro, podendo afetar sua reatividade química na argamassa, influenciando a durabilidade do material final e tendo impacto estético, principalmente em em aplicações onde a cor é relevante.

5.2 Ensaio de Consistência

A consistência influencia diversas características importantes da argamassa. Por meio dela é possível avaliar, por exemplo, a quantidade de água requerida para atingir a trabalhabilidade desejada, ou seja, uma argamassa com a consistência adequada é mais fácil de ser manuseada, espalhada e aplicada.

Tabela 3: Índice de Consistência (mm)

Diâmetros	Referência	Teste 1	Teste 2
<i>Diâmetro 1</i>	272	266	254
<i>Diâmetro 2</i>	251	254	255
<i>Diâmetro 3</i>	271	268	256
<i>Média</i>	<i>264,67</i>	<i>262,67</i>	<i>255</i>

Fonte: A Autora (2023)

No ensaio demonstrado na Tabela 3, utilizou-se a quantidade de água de forma que a resultante média do índice de consistência ficasse de acordo com os padrões da ABNT NBR 13276, de 2016, que varia em torno de 260 ± 5 mm.

Para que as pastas frescas atingissem a consistência de acordo com as normas, utilizou-se aproximadamente 620 ml de água na Referência e 700 ml de água nos Testes 1 e 2. A variação na quantidade de água entre as misturas pode ser devido às propriedades absorventes dos agregados reciclados. Esses materiais podem demandar mais água para atingir a consistência desejada, diferente das misturas apenas com areia fina.

5.3 Ensaio de Resistência à Compressão Axial

O ensaio de resistência à compressão axial em argamassas avalia a capacidade de suportar cargas que tendem a diminuir seu volume. Esse teste é fundamental para avaliar as propriedades mecânicas da argamassa, fornecendo informações sobre sua resistência estrutural e adequação para diversas aplicações, entre elas, os revestimentos.

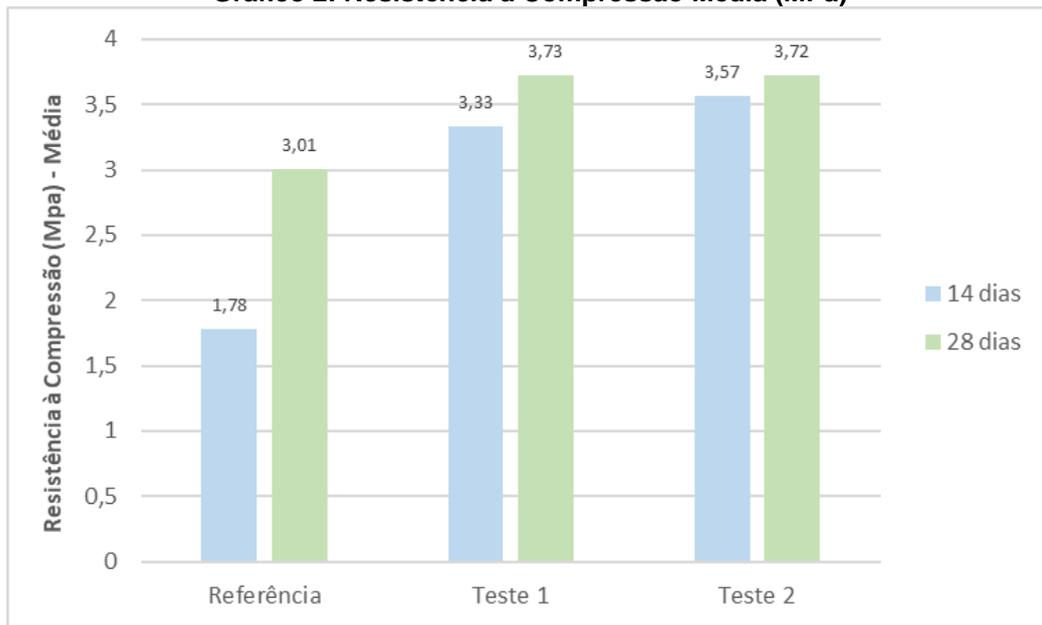
De acordo com a ASTM C270 (2007), as argamassas que possuem cal em sua composição, devem apresentar uma resistência média à compressão maior que 2,40 MPa após 28 dias de cura, sendo este o valor de referência esperado.

Tabela 4: Resistência à Compressão Média (MPa)

Mistura	14 dias	28 dias
<i>Referência</i>	1,78	3,01
<i>Teste 1</i>	3,33	3,73
<i>Teste 2</i>	3,57	3,72

Fonte: A Autora (2023)

Gráfico 2: Resistência à Compressão Média (MPa)



Fonte: A Autora (2023)

De acordo com o ensaio de resistência à compressão realizado (Tabela 4 e Gráfico 2), foi possível observar que a substituição parcial do agregado natural pelo reciclado proporcionou um acréscimo na resistência à compressão das argamassas.

Aos 14 dias, o Teste 1 mostrou um aumento de 87% na resistência em relação à mistura de referência, enquanto o Teste 2 registrou um aumento de 100,5% em comparação à Referência e 7,2% a mais que o Teste 1. Após 28 dias, o Teste 1 e o Teste 2 tiveram um incremento de 23,9% e 23,6%, respectivamente, em relação à Referência. Comparativamente, o Teste 2 e o Teste 1 demonstraram resultados semelhantes, com uma diferença de aproximadamente 0,27% entre eles.

Vale ressaltar que houve um aumento de resistência significativo na mistura de Referência entre o ensaio realizado após 14 dias e o ensaio realizado após 28 dias, com média de resistência à compressão de 1,78 e 3,01 MPa, respectivamente (uma diferença de 69,1%). Aos 14 dias, a mistura estava abaixo do valor de referência esperado, mas após a cura de 28 dias a resistência ficou superior a 2,4 MPa, atendendo a normatização.

Observa-se que após os 28 dias de cura, todas as misturas atingiram a meta de resistência à compressão esperada, além do mais, verificou-se que ao substituir parte da areia pelo agregado reciclado, a resistência à compressão aumentou. Esse aumento, porém, não segue uma relação linear com a quantidade de agregado reciclado adicionada às argamassas.

5.4 Análise da Aderência

O teste de aderência realizado foi baseado em uma análise empírica e visual de cada mistura de argamassa após 28 dias de cura, como mostrado na figura 9.

No teste inicial, um fragmento de revestimento cerâmico foi removido de cada mistura de argamassa para avaliar sua aderência. Na análise realizada, constatou-se que a mistura de referência (sem substituição) obteve a melhor aderência, ou seja, mantendo mais firme o pedaço de porcelanato, seguida pelo Teste 1 (com 25% de agregado reciclado) e pelo Teste 2 (com 50% de agregado reciclado).

Por fim, analisou-se a resistência ao risco de cada uma das misturas, o que está relacionado à dureza dessas argamassas. Constatou-se, facilmente, que o Teste 2 foi o mais resistente ao risco, seguido pelo Teste 1 e pela Referência.

Figura 9: Argamassas no estado endurecido



Fonte: A Autora (2023)

Uma das hipóteses para explicar o aumento da resistência ao risco na mistura contendo 50% de agregado reciclado em comparação com as outras misturas, é a maior presença de finos, o que pode auxiliar na ligação entre as partículas, melhorando a adesão entre os materiais e, conseqüentemente, aumentando a resistência ao risco. Há ainda a possível presença de materiais argilosos o que pode contribuir para uma melhor aderência entre as partículas, aumentando a coesão e, portanto, a resistência ao risco.

Por outro lado, na argamassa com maior teor de agregado reciclado, apesar da maior resistência ao risco observada, a presença de uma quantidade substancial desses agregados poderia influenciar negativamente na aderência ao porcelanato. A composição dos agregados reciclados, como a presença de finos, variações granulométricas ou impurezas, pode afetar a coesão entre os materiais, comprometendo a aderência do porcelanato à argamassa.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria da construção civil no Brasil é crucial para o crescimento econômico do país, representando uma parcela significativa do PIB e sendo uma importante fonte de emprego. Contudo, essa relevância econômica contrasta com os desafios ambientais enfrentados pelo setor, especialmente no que diz respeito à geração e gerenciamento de RCDs.

Ao examinar as propriedades dos agregados reciclados em contraste com os naturais, observou-se uma considerável heterogeneidade na granulometria dos agregados reciclados. Esta variação exige um processo de peneiramento adicional, cenário que evidencia um acréscimo de trabalho e uma diminuição no rendimento do processo. Além disso, observou-se que a consistência das argamassas com agregados reciclados pode demandar uma quantidade de água diferente daquelas com agregados naturais para alcançar a trabalhabilidade adequada.

Observou-se um aumento geral na resistência das argamassas com a substituição parcial de agregados naturais por reciclados, em relação à resistência à compressão. No entanto, essa relação não se mostrou linear em relação à quantidade de agregado reciclado adicionado. Quanto aos testes de aderência, embora as argamassas com maiores proporções de agregado reciclado mostraram uma maior resistência ao risco, houve uma diminuição na aderência da argamassa ao porcelanato, possivelmente afetada por variações na composição dos agregados reciclados.

Nesse contexto, reforça-se a relevância da busca por alternativas sustentáveis na construção civil e recomenda-se, para futuros estudos, investigações mais aprofundadas sobre a aderência das argamassas de revestimento produzidas com agregados reciclados. Outro ponto proveitoso seria a avaliação de desempenho dessas argamassas em longos períodos de utilização.

7. REFERÊNCIAS

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2022**. São Paulo/SP, Abrelpe, dez. 2022.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. C-270: **Standard specification for mortar for unit masonry**. United States, 2010.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D 2487: **Standard**

Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). United States, 2006.

ANDRADE, Patrícia dos Santos; SOUZA, Juliane Santos; SCRAVELA, Ingrid Souza Silva; SILVA, Maghil Moreira. **Propriedades de Argamassas Produzidas com Resíduo de Construção e Demolição.** Revista FATEC de Tecnologia e Ciências. Bahia, 2022.

ANGELIM, Renato R.; ANGELIM, Susane C. M.; CARASEK Helena. Simpósio Brasileiro de Tecnologia das Argamassas. **Influência da Distribuição Granulométrica da Areia no Comportamento das Argamassas de Revestimento.** São Paulo, 11 a 13 junho de 2003.

ANEPAC. Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção. **Mercado.** Disponível em: <https://anepac.org.br/mercado/>. Acesso em: 10 nov. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502:** Rochas e solos. Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9935:** Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13276:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13279:** Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos. Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13529:** Revestimento de Paredes e Tetos de Argamassas Inorgânicas – Terminologia. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 248:** Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 2003.

BAUER, L. A F. **Materiais de Construção - Vol. 1.** Grupo GEN, 2019. E-book. ISBN 9788521636632. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521636632/>. Acesso em: 29 out. 2023.

CAPELIN, L. J., MORAES, K. K., ZAMPIERI, J. P., & VANDERLEI, R. D.. Avaliação dos efeitos da fibra de coco e da microcelulose cristalina nas propriedades de argamassas cimentícias. **Revista Matéria**, 25(1), e-12551, 2020.

CBIC. Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Construção Civil confirma expectativas e cresce forte pelo segundo ano consecutivo.** Informativo Econômico. Inteligência Setorial - CBIC, 02 mar., 2023.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **RDC - Resolução Conama no 307, de 5 de julho de 2002**. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2002.

_____. **RDC - Resolução Conama no 348, de 16 de agosto de 2004**.

Altera RDC 307:2002. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2004.

CRUZ, Márcio André Martins; DINIZ, Flávio Eduardo Gomes. **Utilização de argamassa para revestimento de alvenaria com agregados reciclados de resíduos de construção civil**: uma revisão sistemática. Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Campus Agreste da Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru: UFPE, 2021.

FABRIS, Adrieli Rosa; SAQUETTO, Marina Tessarolo; FONSECA, Mirella Gonçalves da. **Influência da substituição parcial do agregado miúdo natural por agregado reciclado em argamassas de revestimento** - estudo de caso em Vitória/ES. Vitória/ES, 2018

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Construção Civil**. Relatório de Pesquisa. Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República. Brasília/DF, 2012.

KNOB, Gilles Paulo Lunkes; BELLEI, Poliana; BARBISAN, Ailson Oldair. Viabilidade técnica da utilização do resíduo da construção civil para a produção de argamassa de revestimento. **Anais de engenharia Civil**, vol. 3, n. 1, jan. 2019.

LIMA, Karina Paula Barbosa de Andrade; CUNHA, Ana Luíza Xavier; BRITO, Eyshila Paloma Costa; GOMES, Lucas Ítalo Santos [et al.]. Método alternativo para a determinação da consistência em argamassas de revestimento. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 5, e20512541715, 2023.

LISBOA, Ederval S.; ALVES, Edir S.; MELO, Gustavo H. A G. **Materiais de construção: concreto e argamassa**. Grupo A, 2017.E-book. ISBN 9788595020139. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595020139/>. Acesso em: 29 out. 2023.

LUDOVINO, Alysso Carlos; SILVA, Maria Verônica Paula da; SOUSA, Claudemir Máximo de. **Adição de resíduo da construção civil na fabricação de tijolo solo-cimento**. Engenharia Civil. Faculdades Doctum. Caratinga, 2019.

MACEDO, Antonio Márcio de Araújo; ZANELATO, Euzébio Bernabé; MANHÃES, André Luís Flor; AZEVEDO, Afonso Rangel Garcez de; [et al.]. **Influência da incorporação de RCD em argamassas**. Contribuição técnica ao 74º Congresso Anual da ABM – Internacional. Parte integrante da ABM Week São Paulo, de 01 a 03 de outubro de 2019.

PEREIRA, Caio. Qual a diferença entre reboco, emboço e chapisco? **Escola Engenharia**, 2019. Disponível em: <<https://www.escolaengenharia.com.br/diferenca-reboco-emboco-e-chapisco/>>. Acesso em: 19 de junho de 2023.

PINZ, FP.; PALIGA, CM; TORRES, A. da S. Estudo da influência do resíduo de cerâmica vermelha, como substituto parcial do ligante ou agregado, em argamassas mistas para revestimento. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [S. l.] , v. 9, n. 11, pág. e90191110507, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/10507>. Acesso em: 27 mai. 2023.

RIBEIRO, Carmen Couto; PINTO, Joana Darc da Silva; STARLING, Tadeu. **Materiais de Construção Civil**. 2 ed. - Belo Horizonte. Editora UFMG. Escola de Engenharia da UFMG, 2002. ISBN: 8570412967 Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=t4b1NY_WhjMC&printsec=frontcover&hl=ptBR#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 17 nov. 2023.

SOUSA, Gustavo Henrique Mendes de. Reutilização de resíduos da construção e demolição (RCD) como agregado em concreto de cimento Portland. Fundação de Ensino e Pesquisa do Sul de Minas. **Repositório**. Varginha/MG: FEPEMIG, 2020. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/handle/prefix/1379>> Acesso em: 01 jun. 2023.

STREB, Felipe Pohl; GAUER, Emanuele Amanda. Efeitos da substituição do agregado miúdo por resíduo de vidro em argamassa de revestimento. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v. 14, no. 2, junho/2022.

TRENTIN, Priscila Ongaratto; MANICA, Jocasta; VANZETTO, Suelen Cristina; MARANGONI, Bruno; ZALESKI, Alessandra. Substituição parcial de agregado miúdo por resíduo de vidro moído na produção de argamassa. **Artigos Matéria**. Rio de Janeiro., 25 (1), 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/wyCkXD3zkSmzPjPpkqmhm3r/?lang=pt&format=html>. Acesso em: 27 mai. 2023.

ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM ELEVATÓRIAS PELO APRENDIZADO DE MÁQUINAS

Israel Schmittel Spirito¹,
Thamirys Evellyn Rodrigues Neto da Silva¹,
Kevyn Phillipe Gusmão²,
Mirella Gonçalves da Fonseca Miranda da Silva²

¹ Discentes do curso de Engenharia Elétrica do Centro Unversitário Multivix Vitória

² Docentes do Centro Unversitário Multivix Vitória

RESUMO

O gerenciamento, tratamento e controle dos efluentes líquidos tem por finalidade avaliar a origem da sua produção, minimizar os impactos ambientais, realizar a caracterização e supervisão desses resíduos, cumprir com as obrigações legais e avaliar opções para sua administração. O bombeamento é realizado por meio das estações elevatórias de esgoto (EEEs), cujos processos podem ser comprometidos, seja no seu funcionamento ou monitoramento, incorrendo em problemas no desempenho de suas funções. Neste contexto, por meio da análise de tendência em elevatórias pelo aprendizado de máquinas, este estudo tem por objetivo principal criar um modelo preditivo, antecipar se o nível de uma elevatória irá subir ou descer, e identificar potenciais falhas no sistema, permitindo assim uma intervenção precoce e minimizando os riscos. Buscou-se descrever as EEEs, seus componentes, o controle e a operação de funcionamento, os sistemas de controle e os métodos de aprendizado de máquina. A metodologia empregada compreendeu a coleta e tratamento dos dados das elevatórias, seguida da construção e avaliação do modelo de Árvore de decisão. Os resultados de 90% de acurácia, confirmaram a viabilidade de prever com confiabilidade as variações nos níveis das elevatórias e identificar falhas iminentes. A análise valida a robustez do aprendizado de máquinas nesse cenário e indica um caminho inovador para a otimização da gestão desses sistemas.

PALAVRAS-CHAVE

Elevatórias; Aprendizado de Máquinas; Árvore de Decisão; previsão.

ABSTRACT

The management, treatment, and control of liquid effluents aim to evaluate their production origin, minimize environmental impacts, characterize and monitor these wastes, comply with legal obligations, and assess options for their management. Pumping is carried out through sewage pumping stations (SPS), whose processes can be compromised either in their operation or monitoring, leading to performance issues. In this context, through trend analysis in pumping stations using machine learning, this study's main objective is to create a predictive model to anticipate whether a station's level will rise or fall, and to identify potential system failures, enabling early intervention and minimizing risks. The study sought to describe the SPS, their components, control and operation, control systems, and machine learning methods. The methodology employed included data collection and processing from the pumping stations, followed by the construction and evaluation of a Decision Tree model. The results, with 90% accuracy, confirmed the feasibility of reliably predicting variations in station levels and identifying imminent failures. The analysis validates the robustness of machine learning in this scenario and suggests an innovative path for optimizing the management of these systems.

KEYWORDS

Pumping stations; Machine learning; Decision Tree; Prediction.

INTRODUÇÃO

O propósito do gerenciamento e controle dos efluentes líquidos é avaliar a origem da sua produção, diminuir os impactos no ecossistema, realizar a caracterização e supervisão desses resíduos, cumprir com as obrigações legais e avaliar opções para sua administração. A gestão é crucial para a segurança do sistema, assegurando que os efluentes sanitários sejam bombeados adequadamente e tratados de forma eficiente (AQUINO, 2018).

O mecanismo de bombeamento é desempenhado pelas estações elevatórias de esgoto (EEE), também conhecidas como estações de bombeamento, as quais assumem a responsabilidade de impulsionar os esgotos e os resíduos para áreas de elevação superior, viabilizando o transporte eficiente desses detritos dentro da infraestrutura de saneamento básico. Ou seja, impulsionam líquidos ou materiais em um sistema de dutos. Essas instalações realizam uma função vital em sistemas de fornecimento de água, distribuição de água potável, irrigação agrícola, sistemas de drenagem e diversas outras aplicações (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2011).

A operação desenvolvida pelas EEEs segue uma sequência de etapas, que incluem a captação dos efluentes em áreas mais baixas, que ficam retidas temporariamente e, posteriormente, são encaminhadas para as regiões mais elevadas com a finalidade de serem devidamente tratadas. Entretanto, as estações de bombeamento podem sofrer falhas nos seus processos, seja no seu funcionamento como defeito nas bombas ou em seu monitoramento como perda de comunicação ou até mesmo configuração incorreta (MACHADO, 2020).

Dentre essas intercorrências, podem estar as falhas mecânicas e elétricas, obstrução nas bombas, danos à tubulação, vazamentos, o que pode acarretar a interrupção do funcionamento. Por conseguinte, esses problemas podem levar a potenciais perigos à segurança, danos aos dispositivos, eficiência operacional comprometida e escassez de informações para fins de análise, com efeitos adversos para o meio ambiente e à saúde pública (MARTINS, 2014).

Na ausência de monitoramento apropriado, quaisquer falhas ou irregularidades nos componentes das EEEs podem passar despercebidas. Isso resulta em um aumento do risco de ocorrência de incidentes. Sendo necessária a constante supervisão do desempenho do sistema. Isso viabiliza a identificação antecipada de possíveis disfunções, irregularidades ou desvios indesejados, viabilizando uma

resposta rápida e eficaz para evitar prejuízos ou interrupções no sistema. Além disso, possibilita a detecção de padrões de desempenho ao longo do tempo, o que auxilia na otimização das operações, na execução de manutenção preventiva e na tomada de decisões informadas por dados concretos (COSTA FILHO, 2014).

O monitoramento é importante para assegurar a segurança, a eficiência e a confiabilidade dos processos e sistemas, o que, por sua vez, proporciona uma administração mais eficaz e reduz os custos operacionais. Além disso, tem-se a automação, que surgiu como ferramenta para aprimorar a segurança operacional e prevenir futuros contratemplos no sistema, fornecendo dados em tempo real da estação elevatória sanitária buscando a detecção, correção e monitoramento remotos, com ênfase na rapidez e precisão (BRK, 2023). As variáveis de controle em sistemas de bombeamento sanitário são os elementos que podem ser supervisionados e regulados com o objetivo de assegurar o correto funcionamento do sistema de bombeamento (MACHADO, 2020).

Nesse cenário, o foco desta pesquisa foi analisar o sistema de elevação de efluentes sanitários de uma empresa localizada em Vitória. O objetivo geral do estudo foi desenvolver uma proposta de sistema que possa antecipar as falhas das EEEs, com o propósito de ajudar no planejamento, manutenção e operação. Para validar o sistema proposto, buscou-se analisar suas variáveis de funcionamento; avaliar a utilização de linguagem de máquinas que possam prever as falhas; e determinar indicadores de desempenho.

O gerenciamento dos sistemas de monitoramento das EEEs é um aspecto crítico para assegurar a operação segura e eficaz dessas instalações. Neste contexto, essa pesquisa se justifica a partir da relevância do aprimoramento da eficiência das estações de bombeamento, mitigando falhas operacionais, elevando a confiabilidade e otimizando o desempenho do sistema como um todo. Tudo isso tem por meta prevenir problemas e avarias na manutenção, conseqüentemente, minimizando o risco de contaminação.

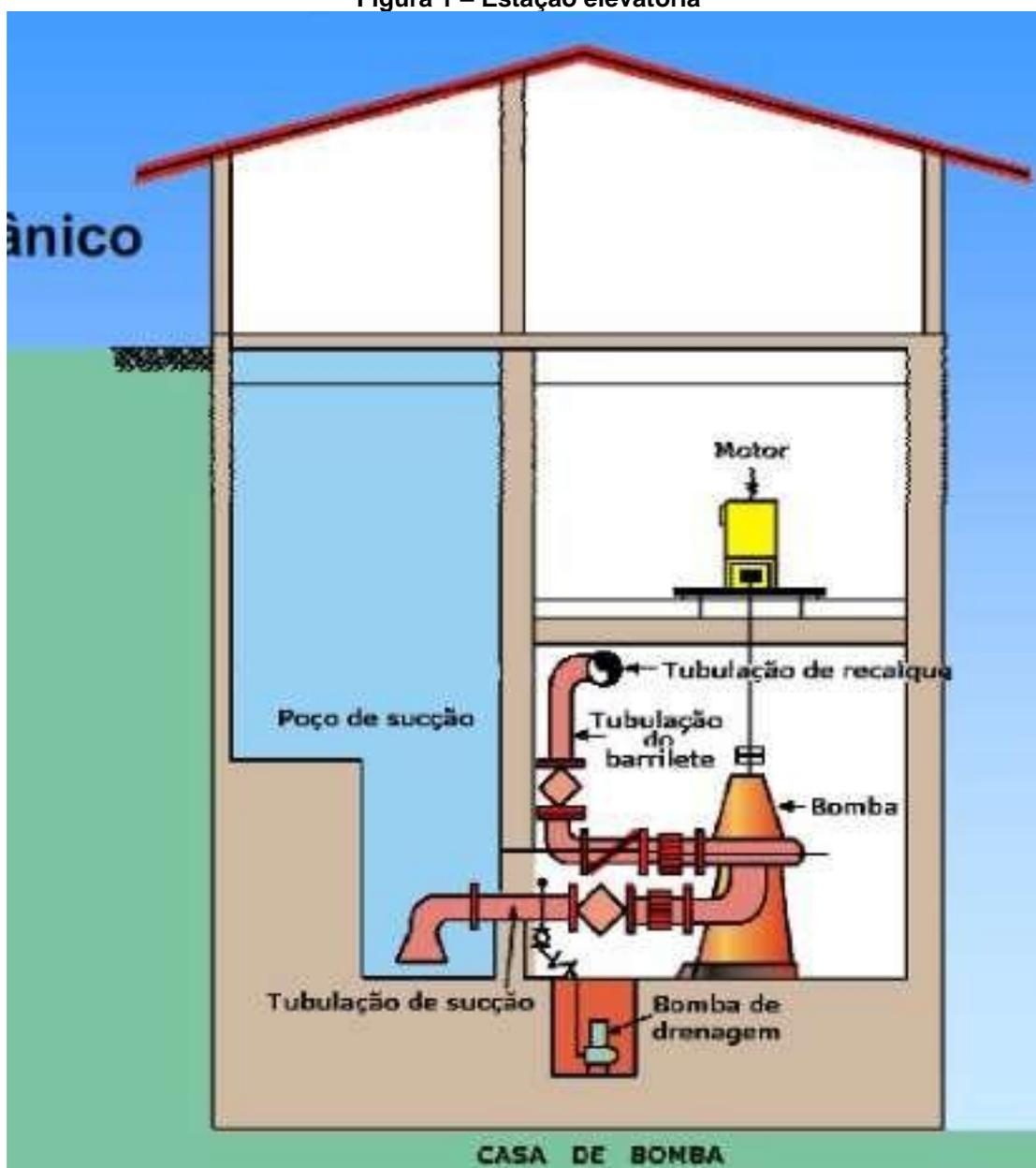
1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Estações Elevatórias

Também conhecida como estação de bombeamento, uma estação elevatória é um conjunto de instalações que engloba sistemas hidráulicos, mecânicos e elétricos

com finalidade de transporte e elevação de fluidos. Os principais componentes específicos incluem bomba, motor elétrico, tubulações tanto de sucção quanto de recalque, dispositivos auxiliares e acessórios conforme a imagem abaixo. As estações elevatórias têm aplicações fundamentais que envolvem: a captação de líquidos de fontes inferior ou de superfície com mesmo nível; o aumento da pressão nas redes para fornecer fluidos a pontos situados em níveis superiores ou a distâncias maiores, ou mesmo em ambas as situações simultaneamente; e, por fim, o aumento da vazão nas etapas de coleta e distribuição (SAMA E, s.d.).

Figura 1 – Estação elevatória



Fonte: Ministério das Cidades (2008).

1.2 Componentes das Estações Elevatórias

Os componentes de uma estação elevada desempenham funções específicas para garantir o funcionamento adequado do sistema de bombeamento e, assim, são de grande importância (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008). O Quadro 1, abaixo, apresenta cada componente e sua função.

Quadro 1 – Componentes das estações elevatórias

Elemento		Definição	Função	Referência
Bomba		Equipamentos fluido mecânicos projetados para converter energia mecânica oriundas de uma fonte externa em energia aplicada a um fluido incompressível.	A principal função de uma bomba é transferir ou mover fluidos de um ponto a outro.	Netto; Fernandes (2015)
Motor		O motor elétrico é uma máquina projetada para converter energia elétrica em energia mecânica.	Amplamente utilizados para acionar máquinas, veículos e uma variedade de dispositivos que requerem movimento mecânico.	Petruzella (2013)
Poço		Estrutura de dimensões limitada que recebe as contribuições.	Armazenar o fluido de forma adequada até que ocorra o bombeamento.	SAMAE (s.d.)
Tubulação	Sucção	Refere-se ao trecho finalizado de um aqueduto, composto por tubos individuais ou uma passagem contínua, que pode ser fabricada no local.	Estabelecem a ligação entre o reservatório inferior ou poço de sucção e os conjuntos motor-bomba.	Tsutiya; Alem Sobrinho (2011)
	Recalque		Responsáveis por transportar o fluido pressurizado que foi impulsionado pela bomba para fora do sistema	

1.3 Controle e Operação de Funcionamento de uma Estação Elevatória

Nas instalações das EEEs, as bombas operam tipicamente de forma automatizada. Esse controle automático, em sua essência, depende da detecção da variação de nível do líquido no poço de sucção, o que representa a forma mais comum e simples de estabelecer uma relação entre a vazão de entrada e a vazão de saída do sistema, essa variação é identificada por meio de sensores de nível que são configurados para controlar os pontos de ligar e desligar as bombas (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2008).

O controle automatizado das bombas, em sua maioria, se fundamenta na mudança de nível do líquido presente no poço de sucção. Essa abordagem representa a maneira mais simples e convencional de estabelecer uma conexão entre a quantidade de líquido que entra e a quantidade de líquido que é bombeada de volta.

A detecção da variação de nível do líquido é realizada por meio de sensores de nível, os quais são configurados para controlar os diversos pontos de partida e parada das bombas, ou então para programar sua operação por intermédio de um painel de controle (ITATIAIUÇU, 2020).

Há a necessidade de verificação da ocorrência de vazamentos, bem como da avaliação do desempenho das válvulas e registro. Também, deve-se estar atento aos ruídos incomuns e vibrações que podem envolver motor e bomba. É, ainda, crucial que se realize as inspeções nas conexões elétricas e nas peças, a fim de evitar a ocorrência de oxidação e demais sinais que possam prejudicar o bom funcionamento do sistema (ITATIAIUÇU, 2020). Assim, para garantir que não haja danos, é importante que haja um sistema de controle capaz de assegurar que os resultados sejam mantidos da melhor forma.

1.4 Sistemas de Controle

Os sistemas de controle são concebidos com o propósito de assegurar que o sinal de saída de um sistema ou processo específico, sob uma entrada determinada, permaneça dentro de uma faixa desejada. Suas aplicações são vastas e abrangem setores que vão desde a indústria química até o controle de posicionamento de antenas e satélites, bem como sistemas de navegação, monitoramento e controle de níveis em reservatórios, entre outras aplicações (NISE, 2023). Sua composição é formada por sinal de entrada, sensor, controlador, processo e o sinal de saída

(PENEDO, 2014).

A entrada é a representação do estado desejado do sistema, é o valor que o sistema de controle busca alcançar. Por outro lado, a “saída” é uma variável que estamos controlando. Representa o resultado real do sistema após a intervenção do controlador. Através do sensor a variável é medida em tempo real fornecendo informações sobre o estado atual do sistema (BEUREN, I. M.; SANTOS, V. DOS; THEISS, V, 2018).

Já o controlador é o cérebro do sistema de controle. Ele obtém informações do sensor e, com base nas diferenças entre o estado real e o estado desejado (erro), gera um sinal de controle para influenciar o processo e minimizar o erro (KAVESKI; BEUREN, 2020).

Todas as sequências de mudanças graduais que ocorrem de forma estável, visando atingir um objetivo é chamado de processo, pode ser uma progressão natural ou uma série de ações controladas deliberadamente para alcançar resultados específicos (OGATA, 2010)

Existem dois tipos de sistema de controle, o de malha aberta onde não há realimentação ou feedback da saída para entrada, isso é, a saída é meramente observada a partir de suas amostras instantâneas, sem estabelecer qualquer conexão com o sinal de entrada (DORF; BISHOP, 2018).

Dorf e Bishop (2018) abordam o sistema de malha fechada, no qual existe realimentação, ou seja, a saída não é apenas monitorada com base em suas amostras instantâneas, mas também influencia a entrada do sistema por meio da criação de um sinal de erro. Para que este sinal seja processador, é frequentemente utilizado o CLP (Controlador Lógico Programável) para desempenhar o papel de um controlador, ajustando constantemente as saídas com base no erro recebido, para manter o sistema no estado desejado.

1.5 CLP

O CLP é um equipamento eletrônico com capacidade executória de instruções. Visa controlar e monitorar outros dispositivos, bem como maquinários industriais e processos em vários níveis de complexidade. É implementado um comando no dispositivo que é capaz de realizar funções lógicas e matemáticas, controle temporal, sequenciamentos (FRANCHI; CAMARGO, 2009). Apesar de existir tamanhos e complexidades diferentes, todos os sistemas de controle podem ser divididos em três

partes com funções bem definidas: atuadores, controladores e os transdutores (sensores).

Um transdutor é um dispositivo que transforma uma característica física do componente sensor, em um sinal elétrico. Esse sinal é então transmitido ao CLP, conectando-se às suas entradas. Já os atuadores têm o papel de converter o sinal elétrico vindo do CLP em uma condição física, geralmente ligando ou desligando algum dispositivo. E os controladores analisam a situação de entrada, conforme esse sinal opera um programa de controle para calcular as condições das suas saídas, esses sinais são convertidos no processo através dos atuadores. Além disso, o operador pode interagir com o controlador, ajustando as configurações de controle.

Alguns drivers também têm a capacidade de exibir informações sobre o estado do processo em um display ou tela. (CAMARGO, 2014).

1.6 Aprendizado de Máquina

O aprendizado de máquina, uma subárea proeminente da inteligência artificial, destaca-se por sua capacidade inerente de processar e analisar vastos volumes de dados complexos, também referidos como "*big data*". Conforme apontado por Mohammed e Al-Zawi (2017), existem algoritmos avançados e técnicas computacionais inovadoras que desempenham papéis cruciais nesta área, a tabela abaixo detalha as etapas envolvidas no processo de aprendizado de máquina, desde a definição do problema até o monitoramento e manutenção do modelo.

Quadro 2 – Etapas do Aprendizado de máquinas

Etapas	Descrição
Definição do Problema	Definir claramente o problema e determinar se o aprendizado de máquina é a solução.
Coleta de Dados	Realizar a coleta dos dados de fontes variadas, tais quais: arquivos, bancos de dados e sensores.
Pré-processamento de Dados	Fazer a limpeza, mutação e divisão dos dados em procedimentos de treinamento, validação e teste.

Escolha do Modelo	Selecione um modelo baseado na natureza do problema (ex.: classificação, regressão).
Treinamento	Desenvolver treinamento com a finalidade de mitigar os erros e ajustar os parâmetros do modelo.
Validação e Ajuste	Avaliar e refinar o desempenho do modelo, possivelmente ajustando hiperparâmetros.
Teste	Avaliar o modelo em um conjunto de teste com dados não vistos anteriormente.
Implementação e Produção	Implementar o modelo otimizado em um ambiente de produção.
Monitoramento e Manutenção	Monitorar o desempenho do modelo em produção e fazer ajustes conforme necessário.

Fonte: Adaptado de Breiman (2001).

1.7 Preparação de Dados

Antes de mergulhar nas técnicas de modelagem, é imprescindível garantir que os dados estejam bem estruturados e de alta qualidade, portanto diversas tratativas são necessárias nesse processo. A abordagem para lidar com essas lacunas varia conforme a natureza do problema e dos dados em questão, estratégias comuns englobam a remoção de registros com dados faltantes ou a imputação de valores usando média, mediana ou, até mesmo, técnicas mais avançadas, como a imputação baseada em modelos (BREIMAN, 2001).

Outro desafio são os Outliers, valores que se desviam significativamente da norma e podem distorcer análises. A identificação e, subsequente, transformação ou remoção desses valores é fundamental para garantir a integridade da análise da mesma forma a normalização e a padronização dos dados, quando se lida com diferentes variáveis em escalas distintas (SEWWANDI; LI; ZHANG, 2024).

Reduzir a dimensionalidade, usando técnicas como a Análise de Componentes Principais (PCA), pode otimizar o desempenho de algoritmos. Além disso, dividir adequadamente os dados em conjuntos de treinamento, teste e validação para uma avaliação justa e eficaz do modelo em questão (ALLEGRETTA, *et al.*, 2020).

1.8 Métodos de Aprendizagem de Máquinas

Dentre os métodos comumente empregados na aprendizagem de máquina, pode-se citar as Redes Neurais Convolucionais (CNNs), notórias por sua eficácia em tarefas de imagem e vídeo, também há as Redes Neurais Recorrentes (RNNs) e suas

variantes, como LSTM (Long Short-Term Memory) e GRU (Gated Recurrent Units), frequentemente empregadas em sequências temporais e linguagem natural.

Mohammed e Al-Zawi (2017) abordam sobre os Transformers, tais como BERT e GPT, representam uma arquitetura em ascensão, especialmente no campo do processamento de linguagem natural. Máquinas de Vetores de Suporte (SVM) são algoritmos de destaque para tarefas de classificação e regressão em espaços de alta dimensão, enquanto as Árvore de decisão (*Random Forests*) baseiam-se na construção de várias árvores de decisão durante o treinamento, resultando em uma classificação ou regressão agregada.

No entanto, o aprendizado de máquina vai além de apenas reconhecer padrões, ele contém o poder de extrair *insights* e informações profundas que, muitas vezes, não são identificáveis por meio de testes estatísticos convencionais, análises de correlação, diagramas e tabelas de contingência (LI, W.; ARUNDEL, S. T., 2022). É válido ressaltar que existem métodos tradicionais de análise, como o modelo *Box-Jenkins* ou ARIMA, que se baseia na ideia de que os valores observados em determinados períodos são funções lineares de valores anteriores, contudo, tais modelos requerem uma compreensão profunda dos dados e muitas vezes necessitam de suposições específicas. Isso pode torná-los desafiadores em determinados cenários e limitados em aspectos como a necessidade de coletar diversos parâmetros e realizar calibrações prévias (SANAL, M. G. et al., 2019).

2. METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido com base em dados de um sistema de estação elevatória de esgoto de uma empresa multinacional do ramo de mineração localizada no município de Vitória, há mais de 80 anos a mineradora chegou no estado, a princípio o seu sistema de esgoto era realizado por fossa, e em 2022 foi implantado o sistema de esgoto sanitário através de elevatórias. Essas elevatórias são divididas em quatro regiões, totalizando cinquenta e um elevatórias.

A divisão das elevatórias ocorre da seguinte maneira: há 13 elevatórias no setor administrativo, 11 elevatórias nas usinas de 1 a 4, 12 elevatórias nas usinas de 5 a 7, conforme imagem abaixo e 15 elevatórias no porto. Dado que se trata de um projeto recente dentro da empresa, a atenção do estudo se concentra na região das usinas de 5 a 7, isso ocorre porque esse projeto é pioneiro e oferece a maior probabilidade de obter os dados necessários para a pesquisa.

Figura 2 – Layout das elevatórias



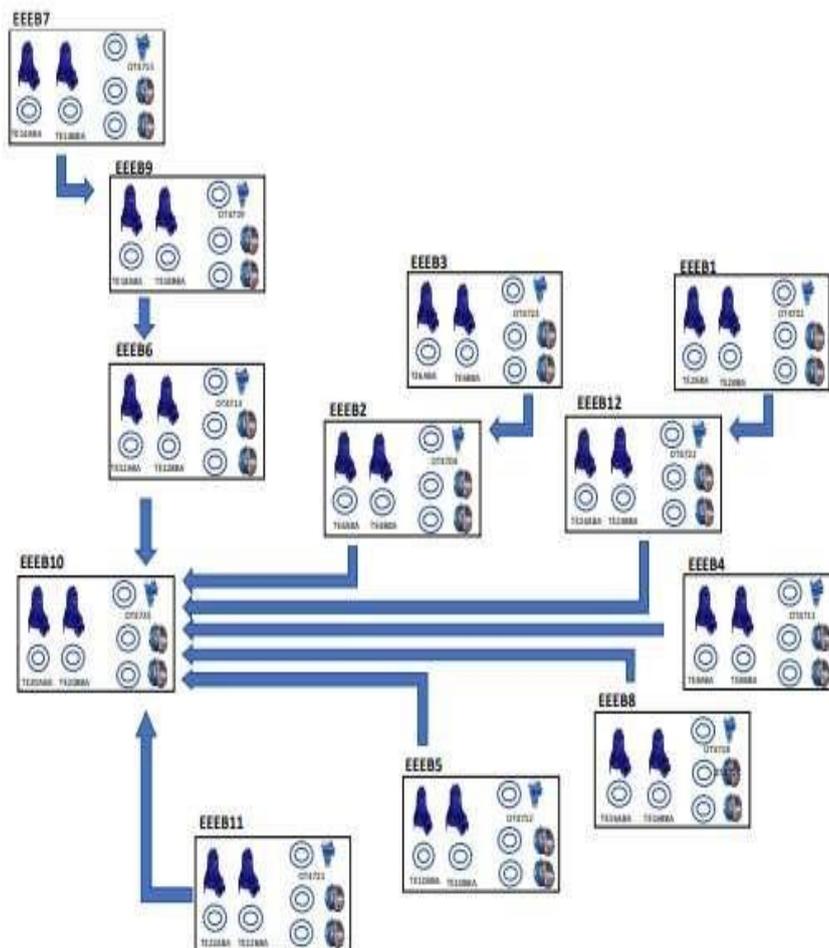
Fonte: Google Earth, adaptado pelo autor

O sistema projetado para esta área tem a função de realizar a coleta e o direcionamento de resíduos advindos de banheiros e vestiários para que seja feito o seu devido tratamento. Este sistema possui doze elevatórias sanitárias, com a capacidade de atender às necessidades de 2000 funcionários, aproximadamente. A organização na qual este sistema de elevatórias funciona, há, ainda, outras diferentes elevatórias que se conectam em série, conforme sua localização e sua capacidade de realizar a coleta.

A seguir apresenta-se o fluxograma (figura 3) para melhor compreensão, que basicamente se comporta da seguinte maneira: as elevatórias 7, 9 e 6 estão dispostas em série, com a elevatória 7 ocorrendo como montante e direcionando o rejeito para a elevatória 9, que por sua vez o encaminha para a elevatória 6 e, finalmente, para a elevatória 10, que se encontra a jusante.

Da mesma forma, as elevatórias 2 e 3 operam em série, com a 2 na posição montante, e as 1 e 12 encaminham seus resíduos para a elevatória 10, que está a jusante. Por fim, os elevadores 4, 5 e 8 têm a função de coletar e enviar seus resíduos diretamente para a elevatória 10.

Figura 3 – Fluxograma das elevatórias



Fonte: Acervo do Autor (2023)

2.1 Obtenção de Dados

A equipe de Gerência de Serviços Ambientais é responsável integralmente pela manutenção e monitoramento das elevatórias sanitárias da mineradora. O projeto em questão foi concluído no primeiro semestre de 2022, e passou por revisões na lógica de funcionamento para garantir um desempenho adequado. Devido a essas modificações, os dados disponibilizados abrangem o período de agosto de 2022 a agosto de 2023.

Esses dados foram adquiridos por meio do *software PI System*, que permite a coleta e análise detalhada dos dados, através do *software* pode-se obter os dados a cada segundo, porém foi liberado pelo gestor da área apenas os dados de 10 em 10 minutos. Para facilitar a obtenção de dados, o *software* conta com a extensão *PI DataLink* que é um suplemento do Microsoft Excel que concede a recuperação de dados do seu *PI Vision* para uma planilha.

É relevante destacar que os dados foram fornecidos pela equipe de engenharia e que todas as elevatórias seguem uma padronização, empregando bombas do modelo SULZER EJ40BX e sensores de nível VEGAPULS C 21, não contemplando monitoramento de pressão, perda de carga e vazão, sendo assim, não é possível realizar o monitoramento dessas variáveis.

2.2 Tratamento de Dados

Os conjuntos de dados fornecidos foram em formato CSV (*Comma-Separated Values*), que é um formato de arquivo usado para armazenar dados tabulares. Era esperado que os valores viessem ordenados por data e valores de 0 a 100 que indica o nível do poço da elevatória, assim foi conduzido uma limpeza dos dados utilizando os métodos de tratamento de valores faltantes, normalização ou padronização, detecção e tratamento de *outliers*.

Após o tratamento dos dados, identificou-se que as elevatórias 6, 7 e 9 não apenas apresentavam o maior volume de registros, mas também se destacavam em relação à qualidade dessas informações, pois havia mudanças frequentes de níveis, isto é, a confiabilidade e a precisão dos dados coletados dessas elevatórias foram superiores. Além disso, os dados coletados consistência com o restante do conjunto, diminuindo a possibilidade de discrepâncias e erros. Assim, justificando a escolha das elevatórias 6, 7 e 9 como o foco central deste projeto.

2.3 Aprendizagem de Máquina

O experimento utilizou técnicas robustas, tais como redes neurais e Árvore de Decisão. Estas técnicas têm a vantagem de não necessitar de múltiplas variáveis para funcionar de maneira eficaz, adequando-se perfeitamente ao cenário do projeto. Especificamente, a Árvore de Decisão é estruturada de forma hierárquica, assemelhando-se a uma árvore, cada nó corresponde a um teste ou questão sobre um atributo determinado, cada ramificação indica uma decisão tomada e cada folha simboliza um resultado ou conclusão.

Esta técnica é suportada por bibliotecas em *Python*, uma linguagem amplamente utilizada no aprendizado de máquina. Assim, com os recursos de *Python*, desenvolveu-se um *script* para implementar a Árvore de Decisão nos dados obtidos. Para os primeiros passos na codificação do modelo, optou-se pelo *Jupyter*, uma IDE (*Integrated Development Environment*) reconhecida por sua versatilidade. O

Jupyter facilita a importação de bibliotecas e proporciona um ambiente interativo para testes e avaliação da aplicabilidade da Árvore de Decisão ao conjunto de dados. Como visto previamente, identificou-se a influência direta das elevatórias 7 e 9 sobre a elevatória 6. Então pode-se ter como alvo a previsão do nível da elevatória 6 pois com registros históricos indicavam maior sensibilidade, tornando-a um ponto focal para previsões.

Para realizar a divisão dos dados em conjuntos de treino e teste, uma prática comum em aprendizado de máquina é destinar 70% para treino e 30% para teste. Durante esse processo, foi introduzida uma variável *booleana* denominada "*Target*", projetada para prever se os níveis subsequentes seriam superiores (1) ou inferiores (0) ao anterior. No processo de alimentação da Árvore de Decisão, os dados foram introduzidos sequencialmente ao algoritmo. Após treinamento com 70% dos dados, o modelo foi testado com os 30% restantes, visando verificar sua performance ao prever a variável *Target*.

2.4 Avaliação da Confiabilidade dos Resultados

A performance do modelo foi avaliada com base na sua acurácia. A acurácia é uma métrica utilizada em classificação e é usualmente utilizada para quantificar o desempenho do modelo. Ela representa a proporção de previsões corretas feitas pelo modelo em relação ao total, fornecendo uma ideia clara de quão frequentemente o modelo acerta em suas previsões, permitindo entender rapidamente a eficácia global do modelo em suas previsões, e matematicamente, a acurácia (Equação 1) é definida como:

Equação 1 – Formula de acurácia.

$$\text{Acurácia} = \frac{\text{Números de previsões corretas}}{\text{Números total de previsões}}$$

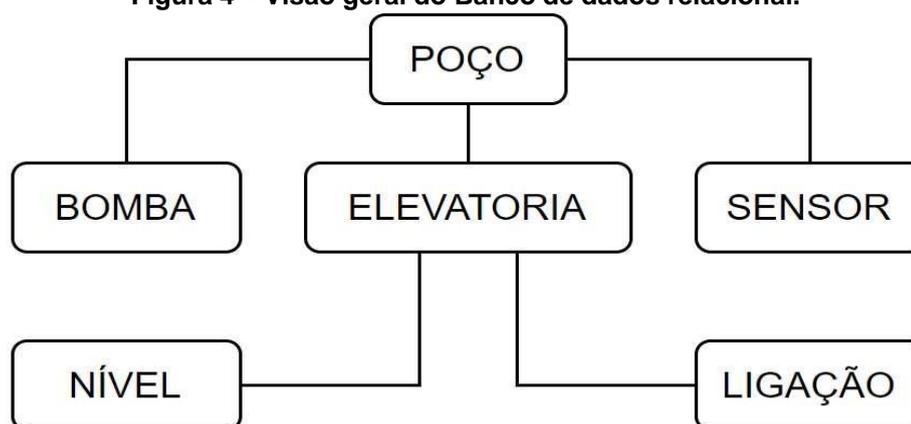
Fonte: Galera Monico, João Francisco et al., 2009.

Dentro dos padrões comuns de problemas de classificação, uma acurácia entre 80% e 90% é vista como um indicativo de um modelo de alta qualidade. Isso significa que, em 90% das vezes, o modelo indicaria corretamente se o nível da elevatória 6 estaria para aumentar ou diminuir na próxima leitura. Esta alta confiabilidade é crucial para fundamentar decisões futuras.

Com o modelo devidamente validado, avançamos para a apresentação dos dados por meio de uma interface *web*. Embora *Python* ofereça capacidades para desenvolvimento *web*, foi optado por utilizar PHP (*Hypertext Preprocessor*), uma linguagem de *script server-side* amplamente utilizada para desenvolvimento *web* e sendo mais amigável para iniciantes. Para o armazenamento e gestão de dados, *SQL Server*, um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional, fornecendo uma estrutura robusta e otimizada para consulta e manipulação de dados.

Para a aplicação efetiva do modelo, é vital integrar o *Python*, PHP e *SQL Server*, portanto, a criação de um banco de dados relacional no *SQL Server* como mostra a figura 4, que serve como elo entre o PHP e o *Python*. Em PHP, é possível inserir novos dados manualmente ou via API (*Application Programming Interface*), que são armazenados no *SQL Server*. Já a execução do modelo em *Python* é agendada, podendo ser disparada manualmente ou através de gatilhos de execução predefinidos.

Figura 4 – Visão geral do Banco de dados relacional.



Fonte: Autor, 2023.

Uma vez processados os dados pelo modelo, o PHP assume o controle, possibilitando ações como, enviar notificações via e-mail/SMS sobre potenciais falhas, instruir o sistema de controle para acionar bombas, realizar testes de acionamento (conhecidos como testes de degrau), verificar a integridade dos sensores de nível,

entre outras funcionalidades.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A relevância deste estudo reside primordialmente na otimização do gerenciamento das estações elevatórias de saneamento. A antecipação de falhas, possibilitada pelo uso de técnicas avançadas como o aprendizado de máquina, não só garante a eficiência operacional, evitando paradas inesperadas, como também protege recursos hídricos e a saúde pública. Cada falha não detectada em uma estação pode resultar em desastres ambientais e em potenciais riscos à comunidade.

Além disso, o estudo traz inovações ao campo do saneamento aplicando a Árvore de Decisão, evidenciada como técnica moderna, podendo ser adaptada a setores tradicionais, potencialmente abrindo portas para mais integrações tecnológicas no futuro. Do ponto de vista da gestão, a capacidade de prever falhas transforma a maneira como os recursos são alocados e como as decisões são tomadas, levando a um sistema de saneamento mais robusto, confiável e sustentável, além de fortalecer a confiança do público e das partes interessadas no sistema de saneamento.

O cenário ideal para o monitoramento é a obtenção de todos os dados no intervalo de 0 a 100 e do tipo real. Entretanto, o pré-processamento revelou que este não era o caso pois havia inconsistências nos dados coletados o que mostrou uma heterogênea dos dados, como dados do tipo *string*, valores fora do range, indicando que o monitoramento estava comprometido. Essas inconsistências não só afetam a análise e a tomada de decisões, mas também sugerem potenciais problemas no sistema de coleta ou nos próprios equipamentos de monitoramento como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Valores disponibilizados

Erro Detectado	Manifestação	Possíveis Causas
Fora do intervalo	Valores como “99999”	Falha do sensor ou erro no sistema de coleta.
Sequências anormais	Múltiplos valores de “100”	Falha do sensor, extravasamento excessivo ou erro no sistema.
Erro de conexão	“Scan Timeout”	Problemas de rede ou falhas de <i>hardware</i> .
Erro Genérico	“Bad”	Falha genérica no sistema ou no sensor.

Fonte: Produzido pelo autor (2023)

Dos 630.744 registros disponíveis, apenas 425.011 registros, equivale a cerca de 67,29% do conjunto de dados, são úteis para análise. No entanto, é fundamental observar que esses dados devem pertencer ao mesmo dia e horário para garantir a confiabilidade de relação, enfatizando a importância não apenas da quantidade, mas também da qualidade.

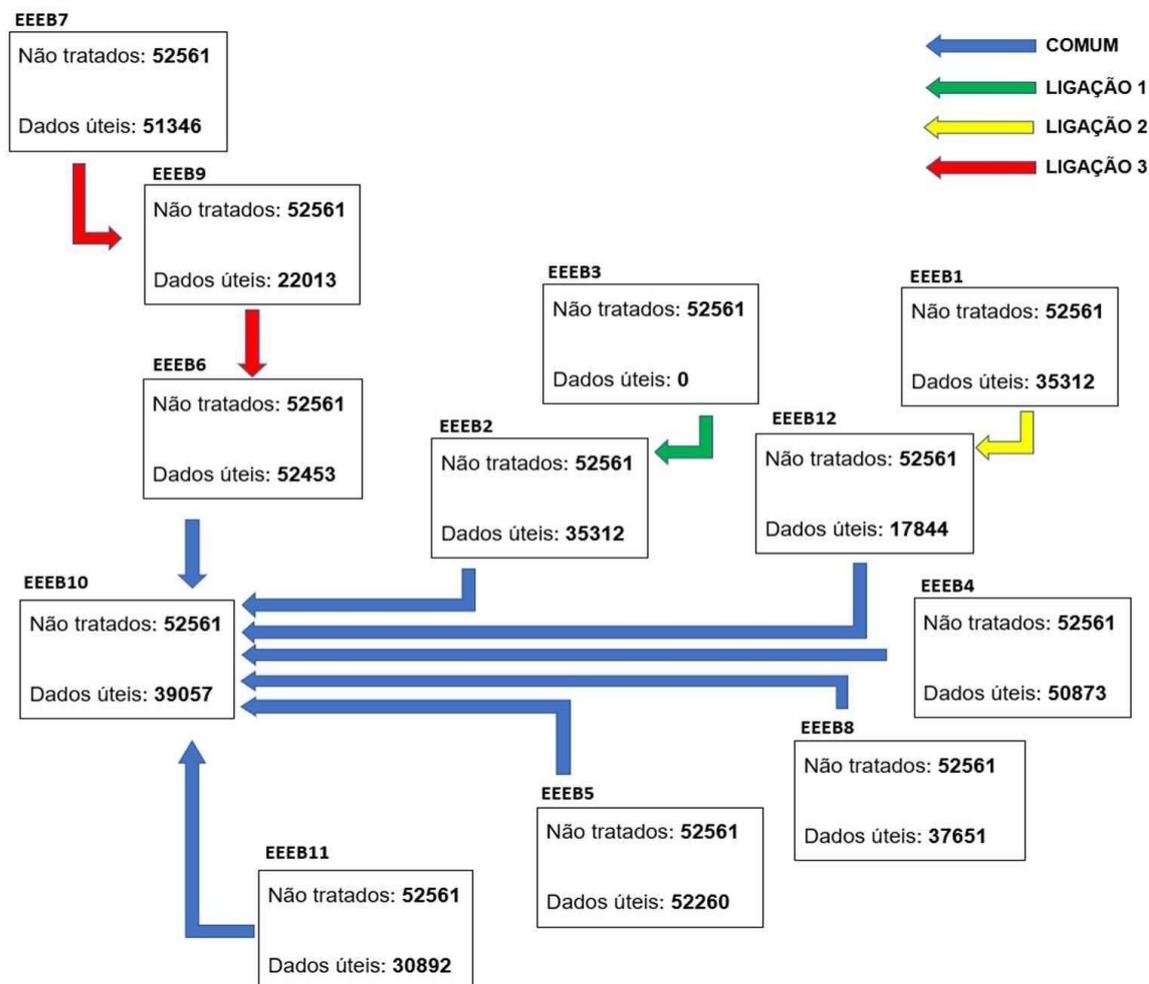
Quando se detecta de forma precoce os dados inconsistentes, é possível evitar a tomada de decisões erradas, assegurando que o sistema de monitoramento trabalhe de maneira eficaz, o que promove a confiabilidade. Dessa maneira, observa-se que é necessário que a informação seja enviada aos envolvidos a fim de que a correção dos possíveis erros seja rapidamente implementada.

Adicionalmente, a presença destas inconsistências por longos períodos, pode sinalizar a ausência de um plano de manutenção ou de um Plano de Ação Emergencial (PAE). Essas falhas não apenas comprometem a integridade do sistema, mas também diminuem significativamente a confiabilidade dele, no contexto do saneamento, a perda de funcionalidade de uma estação elevatória pode resultar em extravasamentos de esgoto, levando à contaminação do solo.

Ao direcionar o foco de estudo para elevatórias específicas, foi levado em consideração não apenas a qualidade dos dados disponíveis, mas também a interconexão e a comunicação entre as elevatórias.

Esta interconexão influencia diretamente o fluxo e a operação de cada elevatória. Por exemplo, a elevatória 10, que recebe fluxos de todas as outras elevatórias, torna-se inviável para previsão devido à sua natureza centralizada e ao alto grau de dependência com as outras, como evidencia a figura 5.

Figura 5 – Dados disponibilizados
DADOS DISPONIBILIZADOS



Fonte: Autor, 2023.

Ao avaliar os conjuntos de dados de cada ligação, observou-se que LIGAÇÃO 1 não continha conjunto de dados para serem utilizados como teste, pois todos os dados da elevatória 3 possuíam erros, assim, a LIGAÇÃO 3 possuía o maior volume de dados, oferecendo uma base mais robusta para análise e previsão, portanto, mais viável e promissora para o estudo.

Reconhece-se a relevância de distribuir de forma equilibrada os dados para treinamento e teste, assim, foi alocado 70% do conjunto total para treinamento e os 30% restantes para teste, utilizando a biblioteca *Sklearn.model_selection* como mostra a figura 6. Posteriormente, a avaliação da performance do modelo foi feita usando a função *score* da mesma biblioteca, permite calcular a acurácia.

Figura 6 – Código em Python

```
In [27]: # Aplicação do modelo
y = treino['target']
x = treino.drop('target',axis = 1)

from sklearn.model_selection import train_test_split
x_treino, x_teste, y_treino,y_teste = train_test_split(x,y,test_size =0.3)

from sklearn.ensemble import ExtraTreesClassifier

modelo = ExtraTreesClassifier()
modelo.fit(x_treino,y_treino)

resultado = modelo.score(x_teste,y_teste)
print ("Acurácia:", resultado) # Resultado da acurácia

Acurácia: 0.9001684274996172

In [11]: prevBASE # Dados para previsão

Out[11]:
      EEEB9  EEEB7  EEEB6
21770  35.06   23.6   59.8

In [29]: modelo.predict(prevBASE) # Entrada para previsão
print ("Resultado da previsão:", modelo.predict(prevBASE)) # Resultado previsão

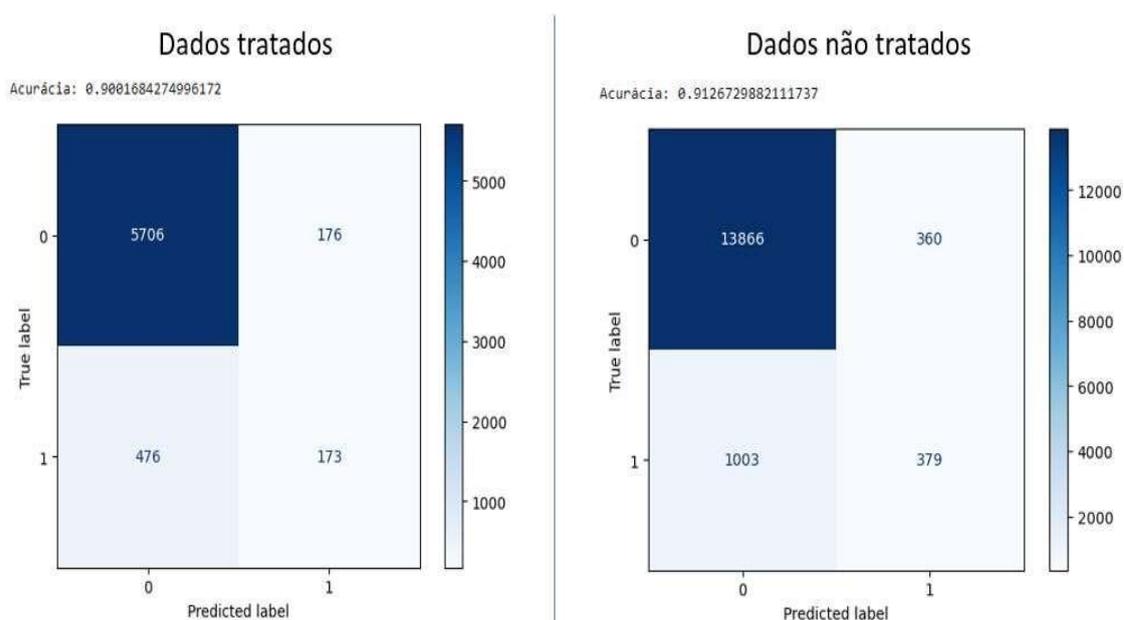
Resultado da previsão: [0.]
```

Fonte: Autor, 2023.

Outra amostragem foi a matriz de confusão, fundamental para uma interpretação mais granular dos resultados, indica que das 6.182 respostas categorizadas como 0, o modelo previu corretamente 5.706 e falhou em 467. Já para os resultados categorizados como 1, de um total de 349, o modelo acertou em 173.

Com base nesses resultados, alcançou-se uma acurácia de 90,01%. Uma visualização mais detalhada dessa performance pode ser encontrada na figura 7, ilustrando a habilidade do nosso modelo em fazer previsões de acurácia a partir dos dados fornecidos.

Figura 7 – Matriz de confusão



Fonte: Autor, 2023.

Da mesma maneira, realizou-se a aplicação do mesmo modelo nos dados não tratados tendo um comparativo de acurácia e matriz de confusão como indica a figura 7 sendo 14.869 respostas categorizadas como 0; o modelo previu corretamente 13.866 e falhou em 1003. Já para os resultados categorizados como 1, de um total de 739, o modelo acertou em 379 previsões, o que alcançou alcançamos uma acurácia de 91,26%. A figura 5 mostra a matriz de confusão de ambos os testes.

Observou-se que o modelo, ao receber os dados atuais, produz como saída os valores 0 ou 1. Estes indicam se a próxima leitura da elevatória 6 mostrará um nível superior, inferior ou igual ao atual, auxiliando assim na tomada de decisões. Com base nessa resposta, foi possível avaliar o nível subsequente e determinar as ações apropriadas a serem tomadas, como por exemplo, o acionamento da bomba na elevatória, visando prevenir extravasamentos na elevatória.

Esse modelo tem potencial para ser integrado a outros sistemas de gestão e controle. Em relação à tomada de controle do CLP, o sistema de gestão pode ser programado para disparar alertas via SMS ou e-mail quando um determinado nível é atingido na elevatória. Adicionalmente, foi viável realizar uma comparação dos dados com a elevatória 10, que se situa logo após a elevatória 6. Tal comparação é fundamental, pois o nível da elevatória 10 pode impactar diretamente o nível da elevatória 6, especialmente se a tubulação estiver completamente cheia, causando acúmulo na elevatória 6.

Dadas as características do modelo proposto, surgem limitações. Nos dados, 0e 100 contém várias repetições sequencialmente, e valores repetidos são marcados como 0 na variável *target*. Recomenda-se revisar o modelo e adicionar um terceiro nível na variável *Target* para valores inalterados, melhorando a precisão. O modelo analisa uma elevatória por vez, exigindo repetição para múltiplas elevatórias, o que pode ser ineficiente com sistemas simultâneos e também se baseia apenas no nível da elevatória.

É importante notar que o modelo se baseia exclusivamente no nível da elevatória para suas previsões. Entretanto, a complexidade inerente ao extravasamento sugere a necessidade de considerar variáveis adicionais, como pressão interna da elevatória, tempo de operação da bomba e periodicidade das amostras. Contudo, é essencial destacar que mesmo com a incorporação de variáveis adicionais, isso não necessariamente mitiga completamente as limitações do modelo. Quando se aborda

elevatórias desprovidas de ligações, o modelo demonstra limitações, uma vez que, a ausência de variação nos dados de entrada dificulta a realização de previsões consistentes.

Contudo o tempo de resposta do modelo se dá pela quantidade de dados disponível para treinamento e teste, uma vez em que existe também as limitações de hardware, se torna uma limitação o domínio do modelo de aprendizagem de máquinas e a familiaridade com outras tecnologias empregadas no modelo apresentado e vale lembrar que deverá ser compatível com o CLP das elevatórias.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o avanço da tecnologia no estudo das elevatórias oferece vantagens significativas em benefício da sociedade. A aplicação da aprendizagem de máquinas na previsão do próximo nível das elevatórias se destaca como um avanço notável demonstrando a viabilidade do uso da tecnologia para prevenir extravasamentos, o que tem benefícios diretos para a comunidade e o meio ambiente. A previsão precisa dos níveis das elevatórias promove a eficiência operacional, evitando transbordamentos e evitando o extravasamento.

Como destaque, verificou-se que o modelo de previsão apresentou um grau elevado de acurácia, sendo perfeitamente utilizável para obter dados confiáveis e tomar decisões assertivas. Como resultados, observou-se que, a partir do recebimento de dados atualizados, o modelo produz como saída valores 0 ou 1, sendo capaz de indicar se a leitura seguinte da elevatória irá apresentar um nível mais elevado, mais baixo ou igual ao atual, o que promove uma tomada de decisão mais assertiva.

O *Python* apresentou alto nível de confiabilidade no processamento dos dados e um tempo curto de resposta, mostrando sua capacidade análise e eficiência com as novas tecnologias de aprendizagem de máquinas, também pode-se notar a facilidade de empregar o modelo com tal linguagem de programação. Sabe-se que é cabível de melhoria o modelo proposto, para âmbito industrial e comercial, fazendo ele se tornar viável em campo.

Recomenda-se a integração de dados operacionais com a parte física do sistema de elevatórias para projetos futuros, visando aprimorar ainda mais a precisão do modelo de previsão, assim, possibilitando outras análises como, esquema de vazamento entre linhas, monitoramento e controle de tubulação com interconexão de

dados com análise em tempo real, tornando-se fundamentais em direção a um sistema mais robusto e confiável.

5. REFERÊNCIAS

ALLEGRETTA, Ignazio; MARANGONI, Bruno; MANZARI, Paola; PORFIDO, Carlo; TERZANO, Roberto; PASCALE, Olga De; SENESI, Giorgio S. Macro-classification of meteorites by portable energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopy (pED-XRF), principal component analysis (PCA) and machine learning algorithms. **Talanta**, Volume 212, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S003991402030076X?via%3Di> hub. Acesso em 03 nov. 2023.

AQUINO, L. M. **Automação de estação elevatória de água tratada via módulo de rádio de baixo custo**. TCC (Curso de graduação em Engenharia Elétrica) - Campus de Sobral, Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2018.

BEUREN, I. M.; SANTOS, V. DOS; THEISS, V. **Análise da Formalidade dos Sistemas de Controle Gerencial em Empresas Incubadas**. Revista Mineira de Contabilidade, v. 19, n. 2, p. 19–30, 21 ago. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21714/2446-9114RMC2018v19n2t02>. Acesso em 03 nov. 2023.

BREIMAN, L. **Random forests**. **Machine Learning** 45, 5–32, 2001, Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>. Acesso em 03 nov. 2023.

BRK. **Automação aumenta segurança operacional de Estação Elevatória de Esgoto de Santa Gertrudes**. 2023. Disponível em: <https://www.brkambiental.com.br/santa-gertrudes/automacao-aumenta-seguranca-operacional-de-estacao-elevatoria-de-esgoto-de-santa-gertrudes>. Acesso em 17 jun. 2023.

BURKART, N., HUBER, M.F., **A survey on the explainability of supervised machine learning**. Journal of Artificial Intelligence Research, Vol. 70, 2021 Disponível em: <https://doi.org/10.1613/jair.1.12228>. Acesso em 03 nov. 2023.

CAMARGO, Valter Luís Arlindo de. **Elementos de Automação** Editora Saraiva, 2014. E-book. ISBN 9788536518411. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788536518411/>. Acesso em: 03 nov. 2023.

COSTA FILHO, Isaias de Almeida da, et al. (org.). **Noções sobre operação de estações elevatórias**. Natal: CAERN - Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte, out. 2014.

DORF, Richard C.; BISHOP, Robert H. **Sistemas de Controle Modernos**, 13ª edição. São Paulo: Grupo GEN, 2018. E-book. ISBN 9788521635147. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521635147/>. Acesso em: 22 out. 2023.

ITATIAIUÇU. **Estação Elevatória de Esgoto Bruto (EEEB) SEDE**. Prefeitura Municipal de Itatiaiuçu. 2020. Disponível em: https://www.itatiaiuçu.mg.gov.br/abrir_arquivo.aspx/Concorrencia_13_2020_Anexo_

XDMemorial_Descritivo_EEBB_Sede_?cdLocal=3&arquivo=%7BD3CE7AAD-CEAA-E2C1-57AA-701AA0B1D111%7D.pdf&cdLicitacaoArquivo=63580.

KAVESKI, I. D. S.; BEUREN, I. M. Influência dos sistemas de controle gerencial e da criatividade sobre o desempenho no trabalho. *Cadernos EBAPE.BR*, v. 18, p. 543–556, 16 out.2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cebape/a/cXPVDQ7c7hYCssf7C5H9z9F/?format=pdf&lang=pt>
LI, W.; ARUNDEL, S. T. GeoAI and the Future of Spatial Analytics. **Springer**. p. 151–158, 1 jan. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-19-3816-0_17
Acesso em: 16 jun. 2023.

MACHADO, Jéssica Roberta Maciel. **Otimização da malha de controle de uma estação elevatória de esgoto**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília – UnB. Orientador: Dr. Luís Filomeno de Jesus Fernandes. Faculdade UnB Gama – FGA , 2020. Acesso em 03 nov. 2023.

MARTINS, Alaide Barbosa. **Desenvolvimento de metodologia para análise de risco com base no método CORAS e avaliação quantitativa para aplicação de plantas de saneamento**. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos. -- versão corr. -- São Paulo, 2014. Acesso em 03 nov. 2023.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Esgotamento sanitário: operação e manutenção de estações elevatórias de esgotos: guia do profissional em treinamento: nível 2 / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (org.). – Brasília: Ministério das Cidades, 2008.**

MOHAMMED, S.A.T.A.; AL-ZAWI, S. Understanding of a convolutional neural network. 2017 **International Conference on Engineering and Technology (ICET)**, Antalya, Turkey, 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICEngTechnol.2017.8308186. Acesso em 03 nov. 2023.

MONICO, João Francisco Galera; PÓZ, Aluir Porfírio Dal; GALO, Maurício; SANTOS, Marcelo Carvalho dos; OLIVEIRA, Leonardo Castro de. **Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada**. Boletim de ciências geodésicas, vol. 15, núm. 3, pp. 469-483. 2009, Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=393937709010>. Acesso em 03 nov. 2023.

NETTO, José Martiniano de A.; FERNÁNDEZ, Miguel Fernández Y. **Manual de hidráulica**. São Paulo: Editora Blucher, 2015. E-book. ISBN 9788521208891. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521208891/>. Acesso em: 02 nov. 2023.

NISE, Norman S. **Engenharia de Sistemas de Controle**. São Paulo: Grupo GEN, 2023. E-book. ISBN 9788521638285. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788521638285/>. Acesso em: 22 out. 2023.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de controle moderno**. Trad. Heloísa Coimbra de Souza; revisor técnico Eduardo Aoun Tannuri. -- 5. ed. -- São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

PENEDO, Sérgio Ricardo M. **Sistemas de controle - matemática aplicada a projetos**

- 1ª edição - 2014. Disponível em: Minha Biblioteca, Editora Saraiva, 2014.

PETRUZELLA, Frank D. **Motores elétricos e acionamentos**. (Tekne). São Paulo: Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788580552584. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580552584/>. Acesso em: 02 nov. 2023.

SAMAE. Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto. **Apostila operador de estação de bombeamento**. Caxias do Sul. Disponível em: <https://www.samaecaxias.com.br/Concurso/DownloadArquivoConcurso/Apostila%20Operador%20ETAE.pdf/>. Acesso em 03 nov. 2023.

SANAL, M. G. et al. **Artificial Intelligence and Deep Learning: The Future of Medicine and Medical Practice**. The Journal of the Association of Physicians of India, v. 67, n. 4, p. 71–73, 1 abr. 2019. Disponível em: <https://europepmc.org/article/med/31309802>. Acesso em: 16 jun. 2023.

SEWWANDI, M.A.N.D.; LI, Y.; ZHANG, J. k-outlier removal based on contextual label information and cluster purity for continuous data classification, Expert Systems with Applications. **Expert Systems with Applications**. Volume 237, Part C, 2024, Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417423018493?ssrnid=4214220&dgcid=SSRN_redirect_SD. Acesso em 03 nov. 2023.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário**. 3ª edição. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011.

PRINCIPAIS PATOLOGIAS NA PAVIMENTAÇÃO RODOVIÁRIA: IDENTIFICAÇÃO DAS CAUSAS E REPAROS

Yan Carlos de Souza Santos Balduino¹,
Rafael de Paula Cosmo²

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário Multivix Vitória

² Mestre em Energia, Docente do Centro Universitário Multivix Vitória

RESUMO

O Brasil possui como principal modal de transporte o sistema rodoviário, responsável pelo movimento de 65% das mercadorias e 95% dos passageiros. Neste cenário, é necessária correta execução e conservação do pavimento rodoviário, de modo a atender de forma eficiente a demanda de transporte e garantir conforto aos seus usuários. A manutenção ineficiente e erros de projeto e execução das rodovias, somadas às solicitações atuantes no pavimento provocam o surgimento de manifestações patológicas na pista. Este estudo teve por objetivo identificar as principais patologias existentes nos pavimentos rodoviários, descrevendo suas causas e indicando seus reparos. A pesquisa foi realizada através de uma revisão bibliográfica sobre os tipos de pavimentos empregados nas rodovias, suas características, principais patologias encontradas e principais formas de reparo. As patologias mais recorrentes em ambos os pavimentos flexíveis e rígidos foram as fendas e os buracos, tornando-se assim mais corriqueiras as ações corretivas para estas manifestações patológicas.

PALAVRAS-CHAVE

Pavimentação rodoviária; Patologias em Pavimento Flexível; Patologias em Pavimento Rígido; Reparos em Pavimentação.

ABSTRACT

Brazil's primary mode of transportation is the road system, responsible for the movement of 65% of goods and 95% of passengers. In this context, the proper execution and maintenance of road pavement are essential to efficiently meet transportation demands and ensure user comfort. Inefficient maintenance, along with design and construction errors, combined with the stresses acting on the pavement, lead to the appearance of pathological manifestations on the road surface. This study aimed to identify the main pathologies found in road pavements, describing their causes and suggesting repairs. The research was conducted through a literature review on the types of pavements used in highways, their characteristics, the main pathologies encountered, and the primary repair methods. The most recurring pathologies in both flexible and rigid pavements were cracks and potholes, making corrective actions for these issues more common.

KEYWORDS

Road pavement; Pathologies in Flexible Pavement; Pathologies in Rigid Pavement; Pavement repairs.

INTRODUÇÃO

O sistema de transportes brasileiro possui a sua malha rodoviária como principal modal de transporte utilizado, apesar de seu grande potencial da rede aquaviária. Atualmente o modal ferroviário é responsável por cerca de 65% da movimentação de mercadorias e 95% da de passageiros, além de interligar os demais modais (CNT, 2021a). Tal fato tem contribuído para que o sistema tenha evoluído para ampliar a mobilidade e atender aos seus usuários com maior logística, eficiência e qualidade, garantindo-lhes conforto e segurança.

Nesse contexto, a condição de operacionalidade da infraestrutura viária é o fator que indica o desempenho e eficiência do transporte rodoviário, necessitando de boa conservação do pavimento e um projeto viário bem planejado, desenvolvido e executado de forma adequada, para se obter maior vida útil do corpo estradal e boa capacidade drenante da via. Entretanto, é comum o surgimento de deformações e degradações no pavimento devido ao desgaste, que podem ser agravados por erros de projeto de terraplenagem ou pavimentação, do uso inadequado de materiais nas rodovias, de um falho sistema de drenagem que não consegue conter os efeitos causados pelas chuvas e a falta ou ineficácia de manutenção nas estradas (ALVES; FERNANDES; BERTEQUINI, 2018).

Segundo dados da Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2021b), 61,9% das rodovias analisadas do Brasil apresentavam algum tipo de problema em seu estado geral, sendo 52,2% dos trechos com problemas no pavimento. Os dados apontam uma estatística preocupante em relação às deficiências na manutenção das rodovias brasileiras, contribuindo para o aumento da necessidade de projetos de identificação, manutenção e correção das patologias encontradas nas vias.

Em se tratando do Espírito Santo, os números apresentam-se muito semelhantes em relação ao cenário do País. De acordo com o Departamento de Edificações e Rodovias do Estado do Espírito Santo (DER-ES, 2021), o estado possui cerca de 6,5 mil km de extensão de rodovias estaduais, sendo 3,9 mil km pavimentadas, e 1,7 mil km de rodovias federais. Em 2021, foi realizada a pesquisa CNT de Rodovias, que avalia toda a malha rodoviária pavimentada e alguns dos principais trechos estaduais de cada unidade federativa, constituindo-se 1726 km para o estado do Espírito Santo. Os dados mostraram que 47,4% da malha rodoviária analisada apresentava problemas no pavimento, sendo necessários cerca de R\$ 901,2 milhões de gastos na manutenção e reconstrução dessas rodovias (CNT, 2021a).

O presente trabalho busca analisar as principais patologias presentes na pavimentação rodoviária do Brasil, estudando as suas causas e formas de reparo, como forma de melhorar o tráfego rodoviário. O estudo apresenta os elementos da pavimentação rodoviária, os tipos de pavimentação existentes e suas respectivas patologias principais, analisando-se suas causas e indicando as técnicas mais utilizadas para correção de cada uma delas. O estudo foi realizado através de revisão da literatura de caráter qualitativo, caracterizando-se de forma inicial pela coleta dos referenciais teóricos, análise e síntese dos dados obtidos acerca da temática

apresentada. Foram utilizados artigos científicos, pesquisas anuais, normas e manuais de execução para sustentar os dados apresentados. Foi realizada, portanto, uma pesquisa bibliográfica, de natureza básica, objetivo descritivo e abordagem qualitativa.

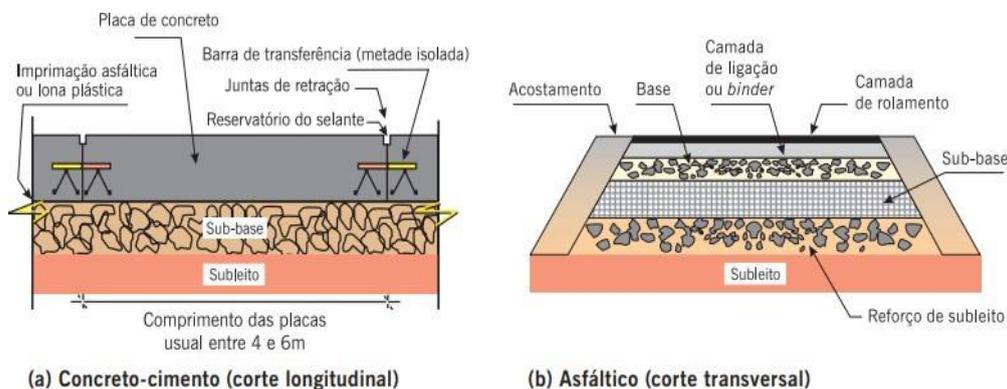
1. DESENVOLVIMENTO

O pavimento, de acordo com Faleiros (2005) e Bernucci et al. (2008), define-se como uma estrutura de diversas camadas finitas, executada após a terraplenagem e que possui a finalidade de resistir aos esforços provenientes do tráfego e do clima, aperfeiçoar as condições de rolamento da pista, garantindo-se conforto e segurança aos usuários, e resistir aos esforços horizontais de degradação, transformando a superfície de rolamento mais duradoura.

As camadas que compõem o pavimento variam de acordo com o tipo de pavimento empregado, podendo ser de dois tipos: flexível ou rígido. Segundo Yoder e Witczak (1991), o pavimento flexível, também conhecido como pavimento asfáltico, constitui-se de uma superfície de revestimento relativamente fina, de material betuminoso, construída sobre uma camada de base e outra de sub-base, sendo as últimas aplicadas sobre o subleito compactado. O principal tipo de pavimento flexível utilizado no Brasil é o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ).

Por outro lado, os pavimentos rígidos ou pavimentos de concreto- cimento são constituídos de concreto em cimento Portland, aplicados sobre uma camada complementar de sub-base acima do subleito, sem a necessidade da base. A **Figura 1** a seguir mostra o esquema da estrutura geral dos pavimentos flexíveis e rígidos.

Figura 1 – Estrutura geral dos pavimentos



Fonte: Bernucci et al. (2008, p.10)

A primeira camada inferior do pavimento é o subleito, constituído pela composição do próprio terreno natural e devidamente compactado e regularizado na terraplenagem. Nos pavimentos flexíveis são aplicadas sobre eles um reforço do subleito, que consiste numa camada de área constante, estabilizada granulometricamente, que objetiva reduzir as espessuras elevadas da camada de sub-base, decorrentes da baixa capacidade resistiva do subleito (DNIT, 2010a).

A sub-base é a camada intermediária entre o subleito ou reforço, e a base, e deve ser aplicada sob a inviabilidade de executar a base de forma direta sobre o leito regularizado ou reforço (MARQUES, 2006). A base é a camada que possui a finalidade de absorver e distribuir os esforços advindos do tráfego. Por fim, o revestimento é a camada aplicada sobre a base e é responsável pelo contato direto com os pneus, proporcionando maior conforto ao rolamento dos veículos, resistência aos atritos e maior durabilidade do pavimento (RIBEIRO, 2017).

Em contrapartida, no que se refere aos pavimentos rígidos, são necessárias menos camadas inferiores ao revestimento. Isso se deve à sua baixa deformabilidade e alta resistência à flexão, dissipando mais rapidamente a tensão absorvida pela superfície de rolamento às camadas inferiores de forma distribuída. Tal propriedade distingue-se do pavimento flexível onde as tensões são dissipadas na região próxima aos pneus (**Figura 2**). O pavimento rígido geralmente é aplicado sobre uma camada de sub-base, que se firma diretamente sobre o subleito.



Fonte: Maia (2012)

Os pavimentos flexíveis possuem maior deformabilidade elástica, devido à degradação das tensões ao longo de suas camadas verticalmente abaixo da região de aplicação dos esforços. Porém, a composição de sua estrutura lhes confere menor resistência quando comparados aos pavimentos rígidos e conseqüentemente, menor vida útil, necessitando de maior manutenção (SILVA; OLIVEIRA, 2021).

1.1 Caracterização das Patologias dos Pavimentos

Os pavimentos rodoviários são construídos para resistirem aos esforços solicitados ao longo de sua vida útil. Entretanto, durante esse processo, são necessários procedimentos contínuos de manutenção e conservação das rodovias, para que estas sejam conservadas e apresentem condições mínimas de segurança e conforto para seus usuários. A ausência ou ineficácia da manutenção de rodovias pode acarretar em manifestações patológicas, encurtando assim a vida útil prevista para a pavimentação do local.

As patologias existentes no pavimento rodoviário dependem de uma série de fatores, tais como o tipo de pavimentação empregada, da qualidade dos materiais de sua composição, do seu modo de execução, das manutenções realizadas, da demanda do tráfego, dos agentes deformadores etc.

1.2 Patologias em Pavimento Flexível

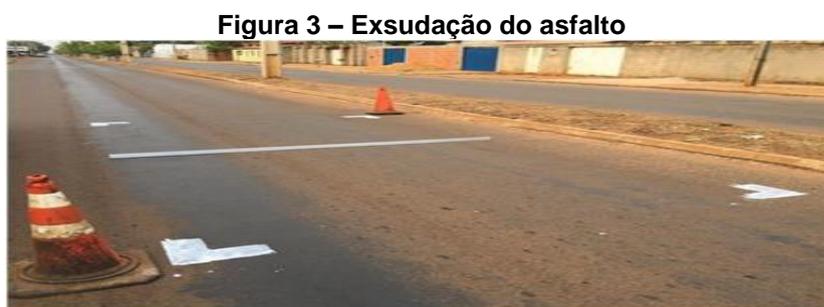
De acordo com Alves, Fernandes e Bertequini (2018), as patologias do pavimento flexível podem ser de origem funcional ou estrutural. As patologias funcionais afetam o estado de serviço dos pavimentos, contribuindo para o desempenho insatisfatório de sua função, ou seja, dificulta as condições de rolamento e conforto aos seus usuários. Quanto às patologias estruturais, causam deslocamentos verticais na superfície quando aplicadas a um tipo de carregamento. Entre as principais patologias funcionais presentes nos pavimentos flexíveis se destacam a exsudação de asfalto, subida de finos, escorregamento do revestimento asfáltico, surgimento de fendas, desgaste, panela ou buraco e remendo. Em relação às patologias estruturais, as mais comuns são os afundamentos e corrugações ou ondulações.

1.2.1 Exsudação

Tal patologia ocorre devido à passagem de ligante betuminoso em excesso para a camada de desgaste do pavimento, através do revestimento asfáltico. Além da

aplicação excessiva de betume, a ocorrência dessa patologia pode ser explicada pela deficiência da mistura de materiais da composição betuminosa ou ainda pelo baixo volume de vazios quando há dilatação no calor, causando deslocamento do ligante betuminoso para a superfície.

A exsudação se manifesta como surgimento de uma película, que se aparenta como várias manchas de dimensões variadas (**Figura 3**) e podem comprometer a aderência entre o revestimento asfáltico e os pneus, causando acidentes graves (PINHEIRO; SILVA; SALOMÃO, 2021).



Fonte: Pinheiro, Silva e Salomão (2021).

1.2.2 Subida de finos

O problema funcional da subida de finos consiste na movimentação de materiais granulométricos presentes nas camadas que compõem o pavimento, que na presença de água no interior do solo são expulsos através de fendas até a superfície do revestimento (**Figura 4**). Esse processo ocorre devido a problemas de drenagem e infiltração (Pinto, 2003).



Fonte: Pinto (2003).

1.2.3 Escorregamento do revestimento asfáltico

O deslocamento do revestimento em relação a camada inferior ao pavimento é conhecido como escorregamento, surgindo fendas em forma de meia-lua, conforme demonstrado na **Figura 5** (DNIT, 2003). Pode ocorrer nos pavimentos rígidos ou flexíveis, devido a falhas na execução do pavimento, principalmente no processo de compactação. São mais comuns nas áreas de frenagem, aceleração ou inclinações (DNIT, 2006).

Figura 5 – Escorregamento na estrada



Fonte: Feroldi (2018)

1.2.4 Fendas

A formação de fendas é o tipo de patologia mais recorrente nos pavimentos flexíveis. Este fenômeno ocorre em função do desgaste e esgotamento dos materiais presentes nas camadas de betume, devido às trações por flexão causadas pela contínua passagem de carga dos veículos sobre o pavimento (SILVA; OLIVEIRA, 2021).

O DNIT (2003, p. 2) define fenda como “qualquer descontinuidade na superfície do pavimento que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob diversas formas”. As aberturas de menor porte são consideradas fissuras, que são perceptíveis a olho nu somente a uma distância menor que 1,50 m (**Figura 6**). Este tipo de fenda não causa problemas funcionais ou estruturais ao pavimento flexível, porém podem evoluir para fendas mais graves.

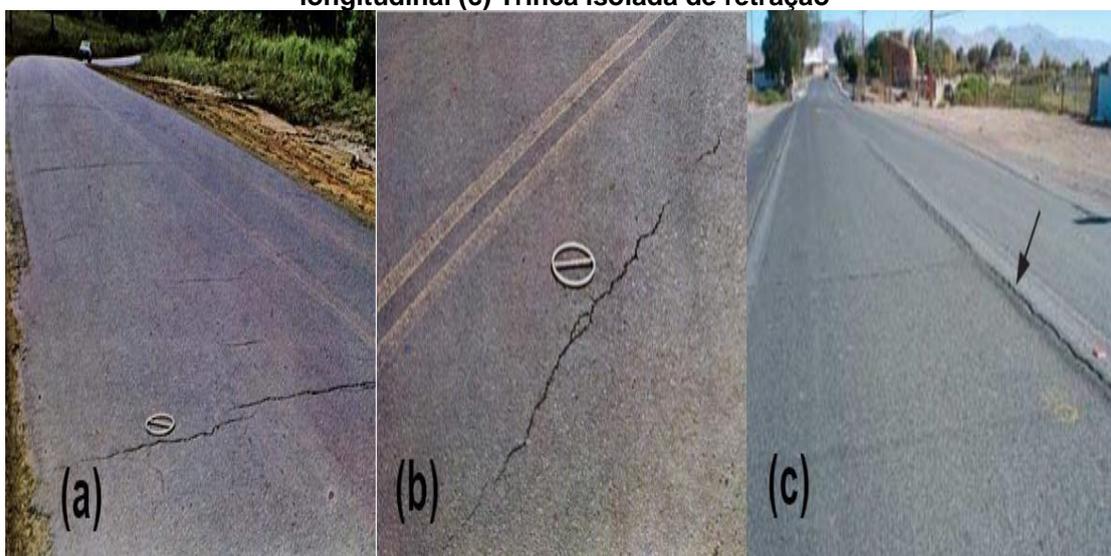
Figura 6 – Fissuras no pavimento



Fonte: CNT (2017)

As trincas constituem-se como fendas de maior espessura que as fissuras e são facilmente visíveis, podendo ser do tipo isolada ou interligada. As trincas isoladas podem ser transversais, quando se manifestam em direção ortogonal ao eixo da rodovia; longitudinais, quando a direção das fendas é paralela ao eixo da rodovia; ou de retração, quando são ocasionadas pela retração térmica dos materiais das camadas inferiores ao revestimento trincado (DNIT, 2003). A **Figura 7** demonstra os tipos de trincas isoladas.

Figura 7 – Tipos de trincas isoladas: (a) Trinca isolada transversal (b) Trinca isolada longitudinal (c) Trinca isolada de retração

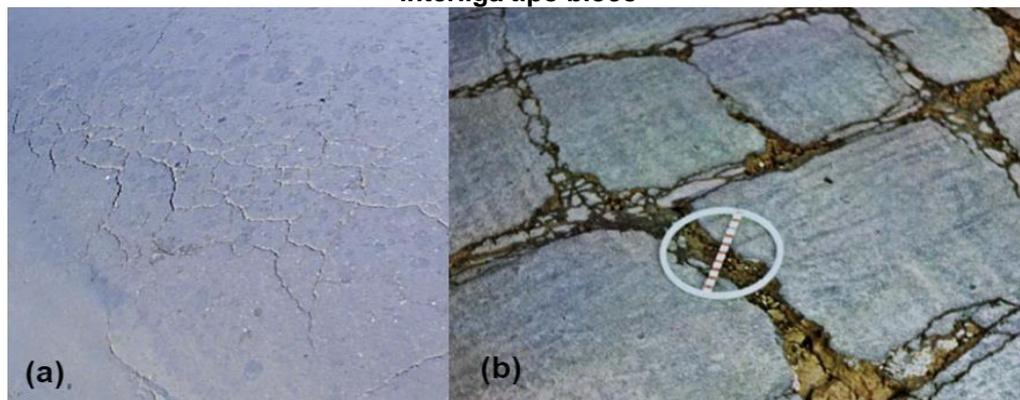


Fonte: DNIT (2003); Bernucci et al (2008)

As trincas interligadas mais comuns são as trincas do tipo couro de jacaré, que se caracterizam como uma série de trincas sem direção ou forma definida, mas com aspecto semelhante ao couro de um jacaré (MELO; CANCIAN, 2018). Esse tipo de patologia representa estado avançado de fadiga, iniciando-se de forma isolada, interligando-se a outras trincas formando o aspecto característico de couro de jacaré.

No caso das trincas interligadas em bloco, são formadas em decorrência da retração do revestimento asfáltico e variações de temperatura ao longo do dia, possuindo forma semelhante a um retângulo. Elas representam um forte endurecimento e conseqüentemente menor flexibilidade do asfalto (RIBEIRO, 2017). A **Figura 8** demonstra os tipos de trincas interligadas.

Figura 8 – Tipos de trincas interligadas: (a) Trinca interligada tipo couro de jacaré (b) Trinca interliga tipo bloco



Fonte: Almeida e Pereira (2017); DNIT (2003)

1.2.5 Desgaste

O desgaste do revestimento asfáltico acontece devido ao arrancamento acumulado do agregado do pavimento, fazendo com que a superfície do revestimento adquira textura áspera (**Figura 9**) (CNT, 2017).

Figura 9 – Desgaste na estrada



Fonte: Feroldi (2018)

2.2.6 Painelas ou buraco

As painelas são cavidades no revestimento asfáltico que podem ou não atingir camadas inferiores, conforme visto na **Figura 10**. Suas causas são variadas, sejam pelo agravamento das trincas sob influência de intempéries e do volume do tráfego, por falhas construtivas envolvendo desde a compactação até à aplicação de imprimação, ou falha na aderência entre as camadas, causando o deslocamento delas (Bernucci et al., 2008). Podem também afetar a estrutura do pavimento, permitindo a infiltração de água por suas camadas e comprometendo a funcionalidade da pista de dar segurança aos usuários (MELO; CANCIAN, 2018).

Figura 10 – Painelas na rodovia



Fonte: Silva e Oliveira (2021)

2.2.7 Remendo

O remendo é uma técnica de conservação do pavimento, que consiste no cobrimento de orifícios ou depressões com massa asfáltica. Entretanto é considerada uma falha pois geralmente possui comprimento longo, causa um desnível notável que provoca na pista e aponta uma área de fragilidade da pista, diminuindo o conforto dos usuários (Bernucci et al., 2008).

A **Figura 11** apresenta superfícies irregulares cobertas por massa asfáltica, caracterizando os remendos.

Figura 11 – Remendos



Fonte: Pinheiro, Silva e Salomão (2021)

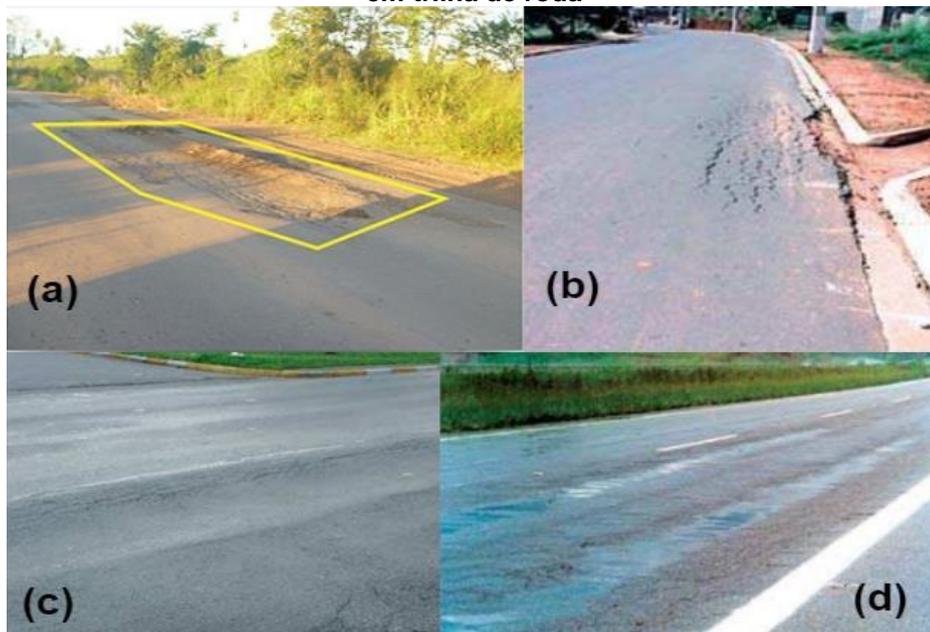
2.2.8 Afundamento

Os afundamentos são patologias estruturais decorrentes de deformações permanentes do revestimento asfáltico ou das camadas inferiores. Se classificam em afundamentos plásticos, causados pela fluência plástica de uma ou mais camadas que compõem o pavimento, acompanhados de solevamento (compensação lateral volumétrica); ou afundamentos de consolidação, causados pela depressão da superfície do pavimento sem o acompanhamento de solevamento.

Ambas as classificações de afundamento podem ser subdivididas em: locais, quando possui extensão de até 6 m, ou de trilha de roda, quando apresentar extensão maior que 6 m e ser localizado ao longo da trilha de roda. No afundamento de consolidação local é comum o surgimento de trincas nas depressões (DNIT, 2003; BERNUCCI et al., 2008).

A **Figura 12** representa ostipos de afundamento no pavimento:

Figura 12 – Tipos de afundamento: (a) Afundamento plástico local (b) Afundamento plástico nas trilhas de roda (c) Afundamento por consolidação local (d) Afundamento por consolidação em trilha de roda



Fonte: Bernucci et al. (2008); CNT (2017)

2.2.9 Corrugações ou ondulações

As corrugações e ondulações são deformações que ocorrem transversalmente ao eixo da pista, caracterizadas pelo formato ondular, com depressões intercaladas de elevações no pavimento. Embora possuam características semelhantes, são consequências de fenômenos diferentes. As corrugações são condicionadas pela fluência da massa asfáltica e possui comprimentos de onda menores, na ordem de centímetros, quando comparadas as ondulações. Esta última, por sua vez, é resultado do adensamento diferencial do subleito, provocando comprimentos de onda maiores, na ordem de metros (Bernucci et al., 2008). A **Figura 13** apresenta corrugações e ondulações na pista.

Figura 13 – (a) Corrugações na via (b) Ondulações severas na pista



Fonte: Bernucci et al. (2008); Feroldi (2018)

2.3 Patologias em Pavimento Rígido

As patologias nos pavimentos de concreto-cimento geralmente ocorrem por degradações da superfície e das camadas de concreto, grandes variações de temperatura ou problemas nas juntas de dilatação. As principais patologias que ocorrem neste tipo de pavimentação podem ser classificadas de acordo com suas origens patológicas: o fendilhamento das lajes, bombeamento de finos, degradações ou defeitos nas juntas de dilatação e degradações ou defeitos na superfície de concreto.

2.3.1 Fendilhamento das lajes

Esta patologia ocorre principalmente devido a passagem sucessiva de carga dos veículos pesados, sobretudo nas trilhas de roda, provocando esforços de tração de causam fendas nas lajes de betão (MAIA, 2012).

Além das fissuras longitudinais, transversais e diagonais, as fendas no pavimento rígido podem surgir com variadas formas, como fissuras de canto, placa dividida e fissuras de retração plástica, conforme ilustrado na **Figura 14** (DNIT, 2004). Seus defeitos podem ser causados por problemas de suporte na fundação, erros no dimensionamento ou na execução das placas de concreto, evolução de fissuras menores ou incidência de intempéries sobre o pavimento (NALDI, 2018).

Figura 14 – (a) Fissuras de canto (b) Placa dividida (c) Fissura de retração plástica



Fonte: DNIT (2004)

2.3.2 Bombeamento de finos

Ocorre de forma semelhante à subida de finos do pavimento flexível, se caracterizando pela evasão de materiais finos plásticos provenientes do solo de fundação do pavimento, através de aberturas como as juntas, bordas das placas de concreto ou trincas existentes (DNIT, 2004). Os finos bombeados também possuem forma de lama fluida e aparência de manchas terrosas (NALDI, 2018).

2.3.3 Degradações ou defeitos nas juntas

As juntas de dilatação do pavimento rígido têm a finalidade absorver as fissuras transversais e longitudinais no pavimento, para que estas não afetem a estética, desempenho ou durabilidade do concreto. Entretanto, por se tratarem das regiões mais vulneráveis da placa, são exigidas precauções e precisão minuciosos em seu projeto e execução para seu correto funcionamento (RODRIGUES, 2009).

Desse modo, a transferência desigual de cargas entre as placas, a má execução do projeto ou instalação nas juntas de concreto, somadas às variações significativas de temperatura e à contínua passagem de cargas sobre as juntas, podem originar patologias que comprometem a vida útil do pavimento. Entre as principais manifestações patológicas envolvendo as juntas de dilatação das placas de concreto, se destacam o alçamento de placas, o escalonamento nas juntas, falha na selagem das juntas ou o esborcinamento (quebra das bordas de dilatação) das juntas (**Figura 15**) (NALDI, 2018).

Figura 15 – (a) Alçamento de placas (b) Escalonamento nas juntas (c) Falha na selagem das juntas (d) Esborcinamento das juntas



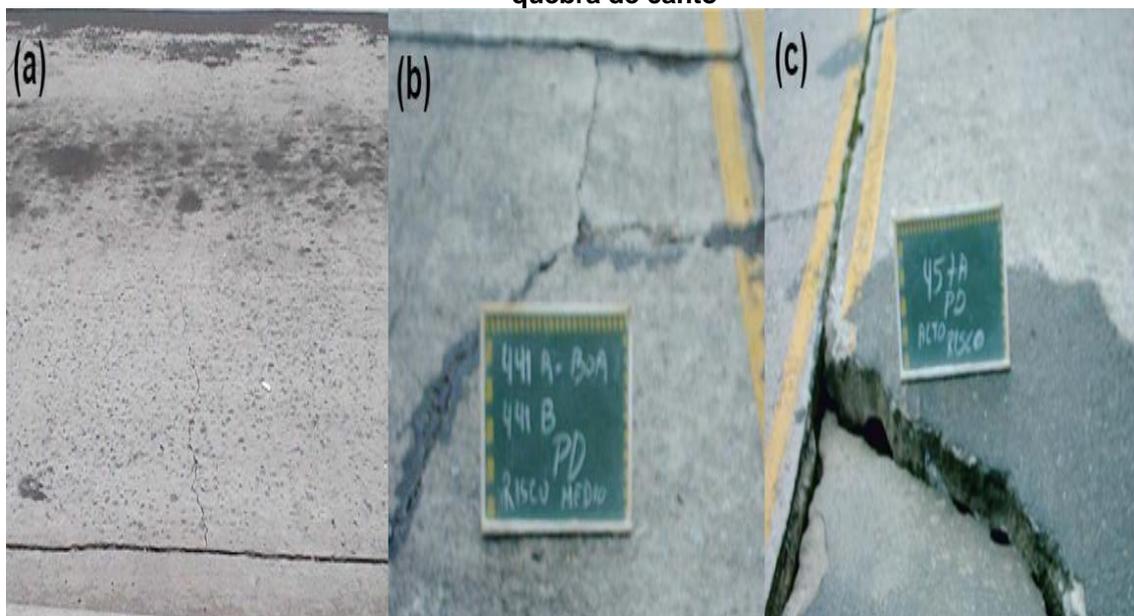
Fonte: DNIT (2004, 2010c).

2.3.4 Degradações ou defeitos na superfície

As degradações da superfície dos pavimentos rígidos podem aparecer sob a forma de desgaste, quando há descolamento da argamassa superficial, contribuindo para o afloramento dos agregados na superfície do pavimento e o polimento da superfície destes agregados com o tempo. A perda de concreto no local, pode provocar o surgimento de buracos (ou panelas) no local (DNIT, 2004).

Além disso, pode ocorrer o assentamento ou afundamento do pavimento, gerando ondulações superficiais extensas, e também o esborcinamento ou quebra de canto, onde surgem quebras nos cantos das placas de concreto, decorrentes de má execução da retirada de fôrmas, baixa resistência do concreto ou indevida utilização de veículos pesados fora das trilhas recomendadas em projeto (NALDI, 2018). A **Figura 16** ilustra as principais patologias envolvendo a superfície do pavimento rígido.

Figura 16 – (a) desgaste superficial (b) assentamento ou afundamento (c) esborcinamento ou quebra de canto



Fonte: DNIT (2004)

2.4 Principais Técnicas de Reparo de Patologias

Para a tomada de decisão quanto ao tipo de restauração a ser aplicada nos pavimentos com defeito, é necessária a realização de um estudo prévio que avalie as condições funcionais e estruturais das vias, identificando a origem e causas para as manifestações patológicas encontradas. Dependendo da severidade da patologia, pode ser necessária a remoção da região danificada e/ou substituição parcial ou total das camadas do pavimento deteriorado (BERNUCCI et al., 2008).

2.4.1 Técnicas de reparo dos pavimentos flexíveis

Segundo o Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos (DNIT, 2006), os principais fatores avaliados para escolha da alternativa de restauração mais apropriada são: a condição em que o pavimento se encontra em relação aos defeitos de superfície (principalmente os trincamentos, o desgaste, a panela, afundamento nas trilhas de roda, irregularidade longitudinal e resistência à derrapagem); solicitação de tráfego, ou seja, o número de passagem de carga por cada eixo padrão durante o projeto; e a capacidade estrutural do pavimento analisado.

Entre as principais técnicas de reparo dos pavimentos flexíveis, destacam-se: capa selante, tratamento superficial, lama asfáltica e microrrevestimento asfáltico, utilizados para selagem de trincas não irreversíveis; fresagem, recapeamento e remendos, utilizados para anomalias diversas.

A capa selante resume-se à aplicação de ligante asfáltico, com ou sem agregados, de forma contínua sobre o pavimento, com o objetivo de restaurar o revestimento asfáltico, fazer com que a pista readquira o atrito entre o pneu e o pavimento, selar as trincas de menor abertura, impermeabilizar a estrutura do pavimento e reduzir o desgaste pela ação das intempéries (YOSHIZANE, 2005).

O tratamento superficial, segundo Bernucci et al. (2008), pode ser definido como a aplicação de ligantes asfálticos e agregados sobre o pavimento, sem a existência de uma mistura anterior entre eles, seguida de devida compactação, recobrindo parcialmente o pavimento e garantindo a adesão entre os agregados e os ligantes.

A lama asfáltica é uma associação de agregado mineral, filer, emulsão asfáltica e água, espalhada de maneira uniforme sobre uma superfície devidamente preparada, podendo ser aplicada como camada de selagem, impermeabilização e conservação de pavimentos (DNIT, 2010b).

O microrrevestimento asfáltico possui composição semelhante à lama asfáltica, distinguindo-se pela emulsão asfáltica de ruptura controlada por polímeros e presença de aditivos. Além de camada selante e impermeabilizante, pode atuar na regularização e rejuvenescimento de pavimentos, além de aumentar a aderência entre o pneu e a pista de rolamento (DNIT, 2018).

A fresagem, segundo Bernucci et al. (2008), consiste no corte parcial ou total do revestimento asfáltico de determinado trecho da rodovia, ou ainda, de outras

camadas constituintes do pavimento, precedendo ações de restauração e substituição das camadas. Este procedimento é recomendado quando o pavimento está deteriorado estruturalmente, com o material retirado podendo ser reaproveitado através da reciclagem.

O recapeamento geralmente é executado após a fresagem, caracterizando-se pela construção de uma ou mais camadas asfálticas sobre o pavimento deteriorado, com a presença de uma camada para corrigir o nivelamento da pista (YOSHIZANE, 2005). Pode ser aplicado na correção da exsudação, de trincas interligadas, ondulações e escorregamento de massa asfáltica.

Os remendos, por fim, são utilizações de massa asfáltica no cobrimento de buracos existentes na via, podendo ser superficiais ou profundos. Embora os remendos mal executados sejam considerados defeitos no pavimento, quando bem executados podem corrigir superfícies com afundamento, panelas e desgaste. Em caso de problemas envolvendo remendos aplicados erroneamente, recomenda-se removê-lo e aplica-lo novamente de forma adequada (ROCHA; COSTA, 2009; DÓRIA; VILVERT, 2018).

2.4.2 Técnicas de reparo dos pavimentos rígidos

De acordo com o Manual de Restauração de Pavimentos Rígidos (DNIT, 2010c), além da avaliação funcional e estrutural do pavimento que contenha quaisquer tipos de anomalias, é necessário classificar os defeitos como recuperáveis ou irre recuperáveis. Os ditos defeitos recuperáveis possuem causas que podem ser eliminadas após seu processo de recuperação, enquanto os defeitos irre recuperáveis apresentam elevado grau de severidade, demandando a demolição do trecho.

Em relação às correções de defeitos recuperáveis, pode-se utilizar a vedação com resina para as fissuras, injeção de calda de cimento para o escalonamento das juntas e bombeamento de finos e substituição do material selante degradado por material mais resistente nas juntas que apresentem deterioração. Em caso de desgaste superficial do pavimento e fissuras em bloco, pode-se aplicar uma camada fina de pasta ou argamassa de cimento, adicionando-se emulsão adesiva.

No esborcinamento de bordas e juntas, são utilizadas argamassas poliméricas, enquanto na correção de buracos não muito grandes pode ser aplicada argamassa ou concreto, após aplicação de material intermediário adequado que sirva de ligação entre o material novo e o antigo.

Quanto aos defeitos irrecuperáveis nos pavimentos rígidos, deve-se demolir parcialmente ou totalmente a estrutura do trecho com defeito e reconstruir novamente o trecho demolido, como ocorre nos alçamentos de placas, fissuras de canto, placas divididas e buracos de maior espessura (DNIT, 2010c).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou analisar os principais tipos de pavimento rodoviário e caracterizar e sintetizar as principais patologias que afetam o pavimento, identificando suas causas, sintomas e técnicas de reparo.

A partir dos dados analisados, pode-se concluir que os pavimentos rodoviários sempre estarão sujeitos a apresentar defeitos, sejam eles de origem funcional ou estrutural. Isso ocorre devido à grande variedade de agentes patológicos e à alta demanda de passagem de carga por essa malha, que assume majoritariamente a posição de principal modal utilizado no Brasil. Uma forma de amenizar a ocorrência desses defeitos, é a execução rotineira e eficiente da manutenção das rodovias.

Com o estudo, é possível concluir que as trincas e as panelas (buracos), que podem acontecer de variadas formas tanto em pavimentos flexíveis como em pavimentos rígidos, são os defeitos mais comuns e que exigem maior frequência e urgência de reparos. A evolução desses defeitos compromete o desempenho funcional e estrutural da pista.

Por fim, a identificação das origens dos defeitos é essencial para se definir o procedimento adequado de restauração/recuperação dos defeitos, pois uma análise equivocada não solucionará a patologia a longo prazo, necessitando-se de outra ação corretiva após um curto período de tempo e tornando-se mais onerosos os gastos na recuperação do trecho deteriorado.

4. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. R.; PEREIRA, M. S. Levantamento de manifestações patológicas em pavimento asfáltico em dois trechos localizados em avenida de Serra-ES. **Trabalho de Conclusão de Curso**; (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade Capixaba da Serra. 2017. 19 p.

ALVES, M. T. O.; FERNANDES, R. E. C.; BERTEQUINI, A. B. T. **Patologias em pavimento flexível**. Araçatuba, SP, 2018. 15 p.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 2008. 3ª ed. 475 p.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Transporte rodoviário**:

por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram? Brasília: CNT, 2017. 158 p.

_____. **Pesquisa CNT de Rodovias 2021**. Brasília: CNT, SEST, SENAT, 2021a. 231 p.

_____. **Anuário CNT do Transporte 2021**. Brasília: CNT, 2021b. 23 p.

DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E DE RODOVIAS DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (DER-ES). **Sistema Rodoviário do Estado do Espírito Santo 2021**. Espírito Santo: DER-ES, 2021. 19 p. Disponível em: <<https://der.es.gov.br/Media/der/Documentos/Rodovias%20Estaduais/SRE%202021%20v2.pdf>>. Acesso em: jun. 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INTRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Norma DNIT 005/2003 – TER: **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia**. Rio de Janeiro, 2003. 12p.

_____. Norma DNIT 061/2004 – ES: **Pavimentos rígidos – Defeitos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 2004. 13 p.

_____. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2006. 313 p.

_____. Norma DNIT 137/2010 - ES: **Pavimentação – Regularização do subleito – Especificações de serviço**. Rio de Janeiro, 2010a. 7 p.

_____. Norma DNIT 150/2010 – ES: **Pavimentação asfáltica – Lama asfáltica – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2010b. 9 p.

_____. **Manual de Restauração de Pavimentos Rígidos**. Rio de Janeiro, 2010c. 140p.

_____. Norma DNIT 035/2018 – ES: **Pavimentação asfáltica – Microrrevestimento asfáltico – Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2018. 9 p.

DÓRIA, F. R.; VILVERT, R. R. **Micro revestimento asfáltico a frio - Estudo de caso: análise da recuperação funcional na rodovia sc-406 trecho: morro das pedras – pântano do sul**. Unisul – Universidade do Sul de Santa Catarina Palhoça, SC, 2018. 88 p.

FALEIROS, L. M. **Estradas: pavimento**. USP – Curso de Engenharia Civil, Notas de aula. Franca, SP. Julho/2005. 39 p.

FEROLDI, Ada Andressa. **Reabilitação de pavimento flexível com aplicação de whitetopping**. 2018. 21 p.

MAIA, I. M. C. Caracterização de patologias em pavimentos rodoviários. 2012. **Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado)** – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Portugal, 2012. 97p.

MARQUES, G. L. O. **Notas de aula da Disciplina Pavimentação**. Versão: 2006. Juiz de Fora, MG. 204 p.

MELO, M. S.; CANCIAN; V. A. Patologias no pavimento flexível. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade paranaense. 2018. 16 p.

NALDI, V. M. **Patologia de construções – Patologias em pavimentos rígidos**.

- Unoeste - Universidade do Oeste Paulista. Presidente Prudente, SP, 2018. 32 p.
- PINHEIRO; A. V. S.; SILVA, M. F. S.; SALOMÃO, P. E. Análise de Patologias no Pavimento Flexível da BR116 Trecho Sudeste: Teófilo Otoni – Itambacuri (Minas Gerais / Brasil). **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**. v.1, janeiro/2021.
- PINTO, J. I. B. R. Caracterização superficial de pavimentos rodoviários. 2003. **Dissertação** (Mestrado em Vias de Comunicação) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2003.
- ROCHA, R. S.; COSTA, E. A. L. **Patologias de pavimentos asfálticos e suas recuperações – Estudo de caso da avenida Pinto de Aguiar**. Universidade Católica de Salvador, BA, 2009.
- RODRIGUES, L. F. Juntas em pavimentos de concreto: dispositivos de transferência de carga. 2008. **Tese (Doutorado em Estruturas)** - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- RIBEIRO, Thiago Pinheiro. Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**. 4ª ed. Ano 02, Vol. 01, julho/2017. p. 733-754. Disponível em: <<https://www.nucleodoconhecimento.com.br/wpcontent/uploads/2017/07/pavimento-flexivel.pdf>>. Acesso em: jun. 2022.
- SILVA, P. O. A.; OLIVEIRA, R. F. Patologias em pavimentos flexíveis. **Revista GETEC – Gestão, Tecnologia e Ciências**. v. 10, n. 30, 2021.
- YODER, Eldon Joseph; WITCZAK, Matthew W. **Principles of pavement design**. John Wiley & Sons, 1991. 2ª ed. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?hl=ptBR&lr=&id=UWBNPe6DeZ8C&oi=fnd&pg=PA3&dq=pavement+definition+book&ots=S_nrwVYhJx&sig=riqfMYEO7ZxhsTO0p0x9glyNbw#_v=onepage&q=pavement%20definition%20book&f=false> Acesso em: jun. 2022.
- YOSHIZANE, Prof. Hiroshi Paulo. **Defeitos, manutenção e reabilitação de pavimento asfáltico**. Universidade Estadual de Campinas, Centro Superior de Educação Tecnológica - CESET, Limeira, 2005.

REDES INTELIGENTES DE ENERGIA

Matías Nicolás López¹,
Stéfani Guitolini²

¹Discente do Curso de Engenharia Elétrica do Centro Universitário Multivix Vitória.

² Doutora, Discente do Centro Universitário Multivix Vitória.

RESUMO

O setor de energia elétrica mundial está passando por uma grande revolução devido ao nascimento e implementação das *Smart Grids* ou Redes Inteligentes de Energia. As Redes Inteligentes de Energia tem como objetivo otimizar a produção, a distribuição e consumo de energia, oferecendo e viabilizando a entrada de novos fornecedores de energia e consumidores na rede, com melhorias significativas em seus monitoramento, gestão, automação e qualidade da energia oferecida, por meio de uma rede elétrica caracterizada. Entretanto, apesar das *Smart Grids* serem uma grande tendência do setor elétrico, ainda se faz necessário o aprofundamento das tecnologias empregadas em sua infraestrutura, principalmente as relacionadas aos meios de comunicação. Objetiva-se com este trabalho apresentar e analisar os tópicos mais estudados na literatura como potenciais soluções para resolver algumas limitações das redes inteligentes no que se diz respeito, principalmente, à atual situação da implantação das *Smart Grids* no Brasil e no mundo.

PALAVRAS-CHAVE

Redes Inteligentes de Energia; Energia Elétrica; Geração de Energia.

ABSTRACT

The global electric power sector is undergoing a significant transformation due to the emergence and implementation of Smart Grids. Smart Grids aim to optimize energy production, distribution, and consumption, enabling the entry of new energy suppliers and consumers into the grid, with significant improvements in monitoring, management, automation, and energy quality through a more advanced electrical network. However, despite Smart Grids being a major trend in the electric sector, there is still a need for deeper exploration of the technologies employed in their infrastructure, particularly those related to communication systems. This paper aims to present and analyze the most studied topics in the literature as potential solutions to address some of the limitations of smart grids, focusing especially on the current state of Smart Grid implementation in Brazil and worldwide.

KEYWORDS

Smart Grids; Electric power; Energy generation.

INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, a sociedade vem se desenvolvendo de maneira muito acelerada, sendo a energia elétrica responsável por boa parte desse desenvolvimento econômico, pela melhora significativa na qualidade de vida mundial, e também pelo desenvolvimento tecnológico.

A maior parte da energia elétrica produzida é proveniente da queima de combustíveis fósseis (IEA, 2018) e a necessidade crescente de energia se contrapõe à preocupação com o desenvolvimento sustentável e o meio ambiente. Sendo assim, muitas tecnologias de fontes renováveis estão sendo desenvolvidas, como por exemplo, a energia fotovoltaica e as turbinas eólicas. A geração fotovoltaica vem

aumentando sua eficiência e devido ao investimento de diversos governos, elas tem sido empregadas também no uso residencial, participando do sistema de distribuição de energia elétrica. Pode-se dizer que quase todos os processos mundiais sendo eles fábricas, indústrias, comércio, construção civil entre outros, precisam de energia elétrica para seu andamento. Por isso é necessário o estudo de novas tecnologias para otimizar e melhorar a utilização da energia elétrica de forma sustentável.

O termo *smart grid*, ou redes inteligentes, não está associado a uma tecnologia específica. Não há consenso em relação ao que seria uma rede inteligente, mas todas as definições perpassam a ideia do uso de medidores e de transmissão de dados para permitir uma utilização mais eficiente e mais segura de recursos. Em outras palavras, a rede faria uso de informações para melhorar as decisões operacionais (POTTER, ARCHAMBAULT e WESTRICK, 2009).

As *Smart Grids* são compostas por automações e tecnologias que objetivam, principalmente, conferir segurança, comodidade e sustentabilidade ao fornecimento de energia elétrica, sempre com o objetivo de otimizar tudo que foi mencionado anteriormente (NEOENERGIA, 2022). Consequentemente, estudos em diversas vertentes se fazem necessários para tornar a tecnologia das redes inteligentes ainda mais sólida e difundida na realidade mundial.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

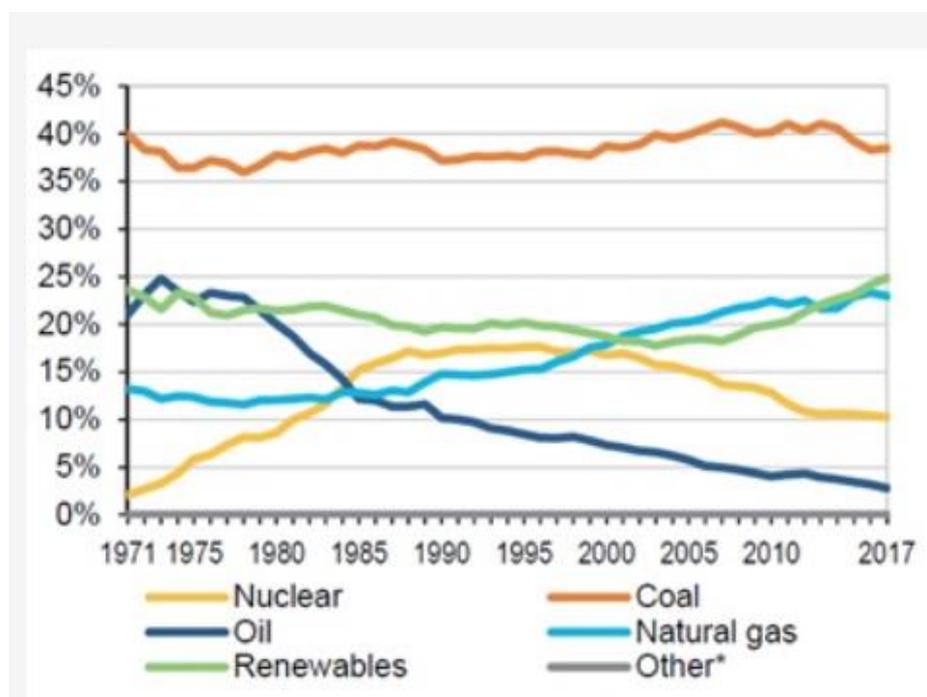
1.1 Desenvolvimento Mundial e a Energia Elétrica

O desenvolvimento da sociedade, o aumento da população mundial, o surgimento de novos equipamentos, novas tecnologias, atrelados a busca pelo aprimoramento e desenvolvimento de melhorias de qualidade de vida, estão ligados diretamente ao aumento crescente da demanda de energia elétrica. Ademais, novos pleitos por qualidade, segurança, flexibilidade e sustentabilidade ligados ao setor elétrico exigem redução de perdas não técnicas, melhoria da continuidade e eficiência energética. Por isso, sistemas elétricos mais inteligentes e robustos vem sendo cada vez mais necessários.

Segundo dados da *International Energy Agency* (IEA), o consumo de energia primária tem apresentado crescimento bastante acelerado nos últimos anos. O cenário da matriz energética mundial tem se moldado cada vez mais na ampliação da participação das fontes renováveis na produção de energia. A geração de energia elétrica mundial corresponde a 25.721,0 TWh e prevalece o uso de fontes não renováveis, sendo o carvão mineral a principal fonte energética utilizada,

correspondendo a, aproximadamente, 38% do total gerado. A participação das fontes renováveis representa apenas 25% da matriz elétrica global, sendo as hidrelétricas a principal fonte geradora. Nota-se que desde 1970 até meados de 2010 houve redução da participação das fontes renováveis na matriz elétrica mundial, devido a fatores climáticos. Com o desenvolvimento da energia eólica, solar fotovoltaica e biomassa observa-se a retomada da participação das fontes renováveis como pode ser visto na Figura 1- Mix de geração elétrica mundial 1971-2017 (IEA, 2019a).

Figura 1 – Mix de geração elétrica mundial 1971-2017



Fonte: IEA. International Energy Agency.- 2020

No que tange ao consumo elétrico brasileiro, em 2018 foi observado um aumento de 1,4% no consumo em relação ao ano anterior, totalizando 535,4 TWh. O setor industrial foi responsável por 37,5% do consumo final, registrando também um crescimento de 0,6% em relação à 2017. Parte deste aumento no consumo de energia elétrica está associada ao setor siderúrgico, cujo crescimento da produção física foi de 0,9%, alavancado pelos segmentos de ferroligas, aço e pelletização (EPE, 2019). O setor siderúrgico e metalúrgico representam 7,17% de todo o consumo de energia no país. Considerando apenas o setor de ferroligas no qual estão inseridas as empresas do GT Ferroligas (SIF/UFV), um dos principais insumos deste segmento é a energia elétrica, o que corresponde à 40,1% (6,094 GWh) da demanda energética

total deste setor, seguido pelos insumos de base florestal, carvão vegetal e lenha conforme apresentado na Figura 2 (EPE, 2019).

Figura 2 – Estrutura do consumo energético no setor de ferro-ligas



Fonte: IEA. International Energy Agency - 2020.

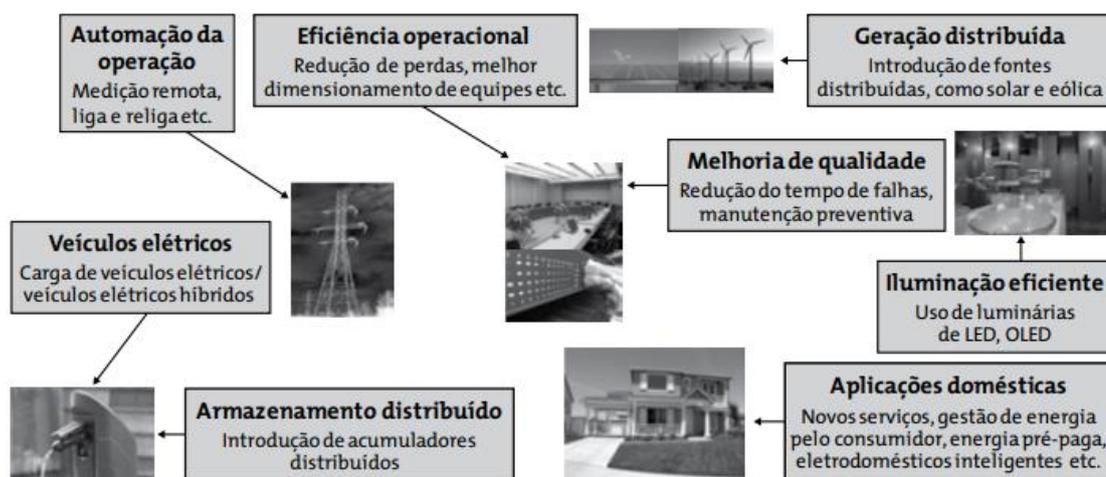
1.2 Redes Inteligentes de Energia

As Redes Elétricas Inteligentes (REI) contam com uma série de recursos e tecnologias da área da comunicação, automação e computação que aplicadas ao sistema de energia elétrica, garantem melhor integração da rede, monitoração e medição em tempo real. Por isso, elas prometem maximizar o uso de geração distribuída (GD), através de recursos que vão desde a gestão de pico de demanda até o controle de despacho de geração distribuída. Portanto, as REI's surgem como solução à necessidade de controle e monitoramento da rede e da GD, tendo papel importante nos centros de despacho da geração distribuída, se implementadas.

As Redes Elétricas Inteligentes, são por definição, gerenciamento de rede elétrica sobre dados em tempo real através de duas vias rápidas de comunicações digitais através da aplicação de soluções tecnológicas para a infraestrutura de entrega de energia elétrica (HONORIO, 2011). A REI inclui um sistema que monitora e controla o fluxo de eletricidade em toda a rede elétrica e incorpora o uso de linhas de transmissão supercondutoras para gerenciar flutuações de energia, perda e integração de micro geração de energia solar e eólica (CARDWELL, 2013).

No Brasil e no mundo, as REI's encontram-se atualmente em um estágio inicial, semelhante ao da *internet* no começo dos anos 1980. Existem então, oportunidades para empresas, concessionárias de energia, fornecedores de tecnologia, governos, consumidores e desenvolvimento de economia sustentável. Em países como Estados Unidos, Japão e também na Europa, haverá a substituição dos medidores de energia elétrica por medidores inteligentes até o ano de 2030, mas isso não significa a implantação do conceito integral das redes elétricas inteligentes. Os planos de substituição de medidores inteligentes dos Estados Unidos, da Europa e do Japão apontam para conclusão entre 2022 e 2030, não necessariamente significando a implantação do conceito integral de redes elétricas inteligentes. A Figura 3 mostra como funciona uma REI e sua utilização.

Figura 3 – Redes Elétricas de Energia



Fonte: Autor, com base em Energy Independent Security Act (EISA) – EUA e Smith (2012).

O domínio das REI's é composto por inteligência distribuída incluindo a descentralização de dados, geração distribuída e de armazenamento e automação do sistema de distribuição e otimização. O envolvimento e interação do cliente também fazem parte, assim como microrredes e dispositivos elétricos de alto consumo, incluindo *plug-in* de veículos híbridos elétricos (COLLIER, 2010). Utilizando como base um documento da IEA de 2011, as principais características das REI são: Auto recuperação da rede em caso de falha; Participação proativa dos consumidores; Tolerância a ataques externos; Foco na qualidade de energia; Capacidade para acomodar uma grande variedade de fontes de energia; Menor impacto ambiental; Atuação remota, visando resposta em demanda; Viabilizar e beneficiar a competição no mercado de energia.

Os países com o maior desenvolvimento foram os primeiros a iniciarem as mudanças de suas redes elétricas convencionais para as redes inteligentes, assumindo o papel de liderança e de disseminadores das tecnologias e experiências para os países em desenvolvimento.

No mundo houveram diversas motivações para justificar os investimentos em Redes Elétricas Inteligentes. Na Figura 4 são apresentados um os principais motivos das nações desenvolvidas investirem na implementação das Redes Elétricas Inteligentes.

Figura 4 – Investimos dos países desenvolvidos em REI

EUA	Europa	Japão	China
<ul style="list-style-type: none"> • Agenda tecnológica para recuperação econômica • Infraestrutura obsoleta • Geração distribuída de energia • Confiabilidade, segurança e eficiência do sistema • Uso de veículos elétricos e híbridos 	<ul style="list-style-type: none"> • Integração de diversas fontes de energia renováveis • Infraestrutura envelhecida • Uso de veículos elétricos 	<ul style="list-style-type: none"> • Diversificação energética (acidentes nucleares) • Uso de veículos elétricos • Implantação de cidades inteligentes 	<ul style="list-style-type: none"> • Implantação de cidades inteligentes e protagonismo mundial em IoT • Eficiência energética • Diversificação energética (renováveis)

Fonte: BNDES (2018)

1.3 Medidor Inteligente de Energia – *Smart Meter*

Um dos avanços na tecnologia dos últimos tempos foi o desenvolvimento dos *Smart Meters*, ou medidores inteligentes, que, ao invés de apenas apresentarem leituras do consumo acumulado da energia, também podem apresentar os dados de consumo em tempo real e com precisão, além de diferentes períodos e diferentes bandeiras tarifárias. Os consumidores poderão se beneficiar decidindo o quanto de energia irão consumir e fazendo uma escolha ótima desse consumo (ZHOU, et al., 2010).

Dentre os principais benefícios dos medidores inteligentes estão a disponibilidade de informações sobre o consumo de energia, a fim de atingir incentivos financeiros ou aprimorar a sustentabilidade e a economia de energia, e a possibilidade de avaliar e controlar os medidores remotamente, permitindo que as concessionárias de energia reduzam custos operacionais e o erro humano durante o processo de leitura dos medidores (AVANCINI, 2019).

O surgimento dos *Smart Meters* tornou possível que os consumidores tenham o poder de decisão para racionalizar o uso de energia, provocando a mudança na curva

de carga, sem que isso comprometa seu nível de conforto ou que seja preciso deixar de lado as suas preferências de consumo. A implementação dessas ações de gestão pelo lado da demanda traz benefícios como a redução da conta de energia elétrica, redução da carga na rede durante os períodos de pico e o uso racional da energia (SANTO et al., 2018).

A diminuição no consumo residencial de energia elétrica adiaria, ou até mesmo, evitaria a necessidade de expansão no sistema elétrico de potência, cuja sobrecarga é um ponto crítico para a operação. O sistema elétrico de potência está sujeito a vulnerabilidades de agentes externos e à demanda do próprio sistema que, combinados, podem levar à falha em cascata. A falha em cascata é um processo sequencial de desconexão de elementos do sistema de potência, como geradores, linhas de transmissão e cargas, levando a um *blackout* parcial ou até mesmo total. Essas falhas impactam significativamente nos cidadãos, negócios, economia e agências governamentais (VYAKARANAM, et al., 2017).

Iniciativas de eficiência energética que visam a redução do consumo, podem também adiar a construção de novas unidades de geração. Dessa forma, além de uma redução da necessidade de investimentos, é possível obter uma redução na emissão dos gases do efeito estufa que seriam emitidos por essas usinas, supondo a expansão ocorra por meio de usinas baseadas em insumos renováveis. Para combater a mudança climática, o Painel Intergovernamental Para a Mudança Climática (IPCC – *Intergovernmental Panel on Climate Change*) calcula que a emissão de gases de efeito estufa no setor energético devem ser reduzidas em 90%, comparadas às emissões de 2010, entre os anos de 2040 e 2070 (WERFF; THOGERSEN; BRUIN, 2018).

A Figura 5 mostra como é o medidor *Smart Grid meters* possuem a capacidade bidirecional de fluxo energético. Ou seja, é uma rede que pode tanto levar energia a um estabelecimento, quanto distribuir a energia gerada pelas placas solares ou outros geradores desse estabelecimento. Para isso, a energia deve passar pelo *smart meter*, um medidor bidirecional. Se um prédio, por exemplo, tiver placas solares que produzem mais do que ele consome, o excedente é redistribuído em outras localidades (NEOENERGIA, 2022).

Figura 5 -- medidor de energia *smart grid* zero medidor de energia bidirecional *smart* bidirecional



Fonte: Eastron – 2022.

1.4 Redes Inteligentes no Brasil

Existem expectativas muito grandes com relação aos investimentos em redes elétricas inteligentes no Brasil. Espera-se que, pelo maior monitoramento e análise de informações, perdas associadas a roubos de energia possam ser reduzidas e o pico de consumo – ocorrido em dias de semana, entre as 19 horas e as 22 horas – possa ser redistribuído ao longo do dia, o que permitiria um melhor uso da capacidade instalada atualmente (ANDREA FELIPPE, 2011).

Em inúmeras áreas do país existem projetos-piloto de *Smart Grid* apoiados por 36 concessionárias de distribuição energética. Esses projetos estão espalhados nas regiões sul, sudeste, norte e nordeste. O projeto com maior número de consumidores, tendo no planejamento atual 400 mil consumidores é o projeto-piloto realizado pela concessionária LIGHT na Área Metropolitana do Rio de Janeiro (ANDREA FELIPPE, 2011). Pela definição do conceito de uma rede inteligente, esse projeto contempla essencialmente a parte de medição. A implantação foi realizada na região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro nas área metropolitana e representa ainda os primeiros passos rumo a uma rede inteligente.

O segundo projeto em número de consumidores atingidos pela rede é a realizada pela Eletropaulo, com 84 mil consumidores, envolvendo os municípios de Barueri, Vargem Grande e Caucaia do Norte e também não está preparado para o

armazenamento de energia, assim como o anterior (POLIELO, 2016). Abaixo é representada uma lista com os demais projetos iniciais de redes elétricas inteligentes existentes no Brasil e a Figura 6 mostrando as regiões do Brasil que possuem os projetos pilotos: *Smart Grid Light* (Light) - Rio de Janeiro/RJ: 400.000 consumidores; *Smart Grid* (AES Eletropaulo) - Barueri e outras localidades/SP: 84.000 consumidores; Cidade Inteligente Aquiraz (Coelce) - Fortaleza/CE: 19.000 consumidores; Paraná *Smart Grid* (Copel) - Curitiba/PR: 10.000 consumidores; Cidades do Futuro (Cemig) - Sete Lagoas/MG: 8.000 consumidores; Parintins (Eletrobrás Amazonas Energia) - Parintins/AM: 5.000 consumidores; Arquipélago de Fernando de Noronha (CELPE) - Ilha de Fernando de Noronha/PE: 1.000 consumidores.

Figura 6 - Mapa do Brasil destacando os estados que possuem projetos piloto de Redes Inteligentes e a quantidade relativa de consumidores.



Fonte: BNDES- 2018

No caso do Brasil, as principais normas que guiam a GD são a resolução normativa (REN) número 482 de 2012 e o módulo 3 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST), ambos de autoria da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Além dessas, há normas técnicas disponibilizadas pelas concessionárias de distribuição de energia que, cumprindo os requisitos estabelecidos pela Resolução Normativa 482/2012, estabelecem critérios e procedimentos técnicos adotados para a conexão de GD em sua área de abrangência.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, publicou em 2013 a norma ABNT NBR 16149:2013 (Sistemas fotovoltaicos (FV) – Características da interface de conexão com a rede elétrica de distribuição). A norma estabelece recomendações e requisitos para a interface de conexão entre os sistemas fotovoltaicos e a rede de distribuição de energia elétrica (ABNT, 2013).

2. REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES

2.1 Geração de Energia Distribuída

Os documentos Procedimentos de Distribuição – PRODIST , elaborados pela Agência Nacional de Energia Elétrica, definem Geração Distribuída como: “centrais geradoras de energia elétrica, de qualquer potência, com instalações conectadas diretamente no sistema elétrico de distribuição ou através de instalações de consumidores, podendo operar em paralelo ou isoladas e despachadas – ou não – pelo ONS” (ANEEL, 2012). A ANEEL classifica a geração distribuída utilizando sistemas fotovoltaicos em três categorias: Microgeração: potência instalada até 100kW; Minigeração: potência instalada entre 100kW e 1MW; Usina de Eletricidade: potência acima de 1MW.

2.2 Benefício E Funções Das Rei

A Rede Inteligente deverá prevenir e solucionar eventuais problemas relacionados principalmente à qualidade da energia gerada, além de garantir a segurança de pessoas e equipamentos conectados em redes de média tensão, classes 15 kV e 25 kV, alimentados por microgeradores, sendo um desafio importante o controle do nível de tensão em redes de baixa tensão com elevada concentração de microprodutores (CHIANG et al., 2008). Além disso, a Rede Inteligente deve satisfazer cinco funções ou princípios que serão descritos a seguir (SAINT, 2009; XU WEI et al., 2009; BROWN, 2008).

2.3 Auto Diagnose Ou Auto-Reparação

Antecipar a resposta às perturbações do sistema (auto-diagnose e auto-reparação – *Self Healing*) em um sistema inteligente que utiliza a informação obtida em tempo real através de sensores incorporados, o controle automatizado deverá ser capaz de prever, detectar e responder aos problemas do sistema elétrico, evitando ou atenuando quedas de energia, problemas e interrupções de serviços, mantendo assim

a qualidade de energia dentro de padrões específicos. Isso permitirá aos consumidores optarem por controlar diretamente certos dispositivos como condicionadores de ar, bombas de piscinas, aquecedores elétricos e chuveiros elétricos, durante períodos de demanda crítica (horário de pico) em troca de algum tipo de redução da tarifa de consumo ou descontos.

Além da possibilidade de haver ganhos com a venda do excedente de energia elétrica para a rede de distribuição e também, ser capaz de responder de forma eficaz a ataques cibernéticos, não somente arquitetado por terroristas, mas também deliberados por consumidores e funcionários insatisfeitos, quando considerados os dispositivos de automação existentes, permitem que a operação da rede isole em tempo real a área afetada, e redirecione o fluxo de carga em torno da instalação defeituosa ou danificada (DELÉO E MELO, 2012).

2.4 Gerência e Armazenamento

Gerenciar todas as opções de geração e armazenamento de energia elétrica: a Rede Inteligente deverá ser capaz de gerenciar a geração tradicional de energia elétrica, representada pelos grandes geradores como usinas hidrelétricas e termelétricas, e também ser capaz de interligar as novas fontes de geração como célula a combustível, unidades fotovoltaicas, pequenas turbinas eólicas e geradores distribuídos a diesel, gasolina e gás natural operados em *stand-by* (DELÉO; MELO, 2012).

2.5 Melhoria e Confiabilidade

Este gerenciamento interligado das várias fontes de geração de energia também contribuirá para a melhoria da confiabilidade do fornecimento e qualidade da energia entregue às unidades consumidoras, reduzirá os custos da geração de energia elétrica e possibilitará que o consumidor escolha o mercado de eletricidade (DELÉO; MELO, 2012).

2.6 Eficiência Operacional

A medição inteligente no contexto de Rede Inteligente será uma ferramenta que permitirá às concessionárias de energia elétrica aumentar sua eficiência operacional, melhorar o atendimento aos clientes, promover o uso racional da energia elétrica, promover o deslocamento de carga, principalmente nos horários de pico, reduzir

custos e agilizar o processo de geração de fatura, reduzir perdas na transmissão e distribuição de energia elétrica, principalmente as perdas relacionadas ao furto de energia elétrica, e facilitar o controle e operação do sistema elétrico de transmissão e principalmente do sistema de distribuição (DELÉO; MELO, 2012).

2.7 Processo De Geração Da Fatura

Para os consumidores, os benefícios com a implantação da Rede Inteligente através da medição inteligente serão a maior confiabilidade no processo de geração da fatura que passará a ser automático e preciso. A possibilidade de visualização em tempo real dos parâmetros de rede e indicadores de qualidade da energia consumida, a implantação de um novo sistema tarifário com diferentes faixas de valores ao longo do dia (postos tarifários) e a possibilidade de visualização do valor da energia consumida em tempo real permitirão que consumidor planeje a utilização dos equipamentos e com isso reduza o valor de sua fatura mensal. Também, devem-se analisar as possibilidades vislumbradas pela introdução de novas tecnologias no gerenciamento da geração e consumo de energia, ainda mais em um período no qual se discutem como evitar ou diminuir as emissões de gases de efeito estufa (DELÉO; MELO, 2012).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Devido à maior quantidade de informações e controle do sistema, as redes inteligentes têm o potencial de reduzir o custo final da eletricidade, aumentando a eficiência da rede e gerenciando melhor a oferta e a demanda de energia. Vários países já tem investido nessas redes, mas as avaliações de custo-benefício ainda não determinam sua viabilidade.

Para o Brasil, ainda não há conclusões dos reais custos e benefícios reais das redes inteligentes. No Brasil em particular, existem dois fatores importantes: uma proporção significativa de pessoas usando equipamentos ineficientes, como chuveiros elétricos, e também a falta de conhecimento sobre a economia de energia proporcionada por equipamentos eficientes. Sugerindo que benefícios significativos são possíveis por meio de políticas mais simples.

Antes de realizar grandes investimentos de renovação da rede elétrica e políticas para a substituição de chuveiros elétricos e de educação, como as utilizadas durante o racionamento de 2001, poderiam reduzir consideravelmente o consumo residencial

de eletricidade, principalmente durante seu pico no final do dia. Ainda assim, há diversos outros benefícios com as redes elétricas inteligentes. De qualquer forma, deve-se ter cautela em relação a esses investimentos, uma vez que muitos dos benefícios são incertos e difusos.

No entanto, na ausência de uma avaliação custo-benefício adequada, a alocação proporcional dos custos aos benefícios é complicada. Por exemplo, reduções nas perdas de negócios podem ser repassadas às tarifas de distribuição, beneficiando diretamente os consumidores.

O aumento do bem-estar devido a uma menor incidência de falta de eletricidade é um benefício não captável via tarifa. Na prática, os investimentos relacionados às redes inteligentes que gerem este aumento de bem-estar, provocariam o aumento da tarifa de distribuição. Há ainda impactos de postergação de investimentos nas redes de geração e transmissão, devido ao uso de geração distribuída possibilitado pelas redes inteligentes.

4. REFERÊNCIAS

ABOBOREIRA, Felipe Luz; CRUZ, **Antônia Ferreira dos Santos. A importância do Smart Grid na rede elétrica de distribuição do Brasil.**

ABRADEE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA. **Projeto Estratégico de P&D: redes elétricas inteligentes. Brasília, 14-15 dez. 2011.**

ACHÃO, C. C. L. **Análise da decomposição das variações no consumo de energia elétrica no setor residencial Brasileiro.** 2009. Rio de Janeiro, 151. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas – Disponível em : <https://www.abnt.org.br/> - Acessado em 10 Maio de 2022.

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI. **Mapeamento da cadeia fornecedora de TIC e de seus produtos e serviços para redes elétricas inteligentes (REI).** Relatório Consolidado. v.1, p412, 2017.

AMIN, S. M.; WOLLENBERG, B. F. **Toward a smart grid. IEEE Power and Energy Magazine, v. 3, n. 5, p. 34-38, 2005.**

ANEEL. **Nota Técnica nº 0044/2010-SRD/ANEEL.** 2012.

Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018: Ano base 2017.

AOL ENERGY. **Europe's Smart Grid Journey.** 2011.

Benefícios e desafios de redes inteligentes - v. 2, n.1, p. 3-14, jan./dez. 2012 - Rafael Deléo Oliveira e José Carlos de Melo Vieira Júnior .
COLLIER, S. E. (2010). **Ten steps to a smarter grid. Industry Applications Magazine, IEEE, 16(2), 62-68.**

EPE, 2014. **Balço Energético Nacional**, Brasília: Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: < <https://ben.epe.gov.br/default.aspx> >. Acesso em: 18 de Maio de 2022.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. CADERNOS DE ENERGIA EPE, PERSPECTIVAS PARA O ETANOL NO BRASIL, Brasília, 2008. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/default.aspx> . Acesso em: 18 de maio de 2022.

EPE. **Empresa de Pesquisa Energética**. CADERNOS DE ENERGIA EPE, PERSPECTIVAS PARA O ETANOL NO BRASIL, Brasília, 2008. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/default.aspx>. Acesso em: 19 de Maio de 2022.

EEl, AEIC, UTC. **Smart Meters and Smart Meter Systems: A Metering Industry Perspective**; 2011.

ELETROBRAS – CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS. **Programa Nacional de Conservação e Energia Elétrica. Relatório da pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: classe-residencial: ano base 2005**. jul. 2007.

Empresa de Pesquisa Energética. 2010. **Avaliação da eficiência energética na indústria e nas residências**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2010.

Empresa de Pesquisa Energética. 2017. **Caderno de Demanda de Eletricidade**. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2017.

FALCÃO, D. **Smart grids e microrredes: o futuro já é presente**. In: SIMPÓSIO DE AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS, 8., 2009.

FARUQUI, A.; HLEDIK, R.; SERGICI, S. **Piloting the smart grid**. *The Electricity Journal*, v. 22, n. 7, p. 55-69, 2009.

GELLINGS, C. W.. **The concept of demand-side management for electric utilities**. *Proceedings Of The IEEE*, v. 73, n. 10, p.1468-1470, 1985. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE).

GELLINGS, Clark W. **Then and now**. *Energy Policy*, v. 24, n. 4, p.285-288, abr. 1996. Elsevier BV.

IEA. International Energy Agency – 2020. Disponível em < <https://www.iea.org/>> Acesso em 05 de junho de 2022.

KEMA. **Smart grid development is not limited to the U.S.** [s.d.].

Ministério de Minas e Energia. Brasília:Ministério de Minas e Energia, 2018.

MOHASSEI, Ramyar Rashed; MOHAMMADI, Farah; FUNG, Alan S; RAAHEMIFAR, Kaamran. **A survey on Advanced Metering Infrastructure**. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*. 2014.

NEOENERGIA - Grupo privado em energia elétrica no Brasil e atua de forma integrada em geração, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica – 2022. Acessado em 13 de junho de 2022.

NGUYEN Q.H., M.R. VALLEM, B. VYAKARANA, A. TBAILEH, X. KE, AND N.A. SAMAAN. 2021. **"Control and Simulation of a Grid-Forming Inverter for Hybrid PV-Battery Plants in Power System Black Start."** In IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM 2021), July 26-29, 2021, Washington DC, 1-5. Piscataway, New Jersey:IEEE. PNNL-SA-157947. doi:10.1109/PESGM46819.2021.9637882.

POTTER, C.; ARCHAMBAULT, A.; WESTRICK, K. **Building a smarter smart grid through better renewable energy information.**

POWER SYSTEMS CONFERENCE AND EXPOSITION, mar. 2009. p. 1-5.

Redes elétricas inteligentes: contexto nacional. – Brasília, DF :Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2012.

Relatório da pesquisa de posse de equipamentos e hábitos de uso: classe industrial – alta tensão – ano base 2005. mar. 2008.

RIVERA, Ricardo; ESPOSITO, Alexandre Siciliano; TEIXEIRA, Ingrid. **Redes elétricas inteligentes (smart grid): oportunidade para adensamento produtivo e tecnológico local.** p43-84. Revista do BNDES, nº40, 2013.

SILVA, Marcelo Rubia da. **Modelação e análise da vida útil (metrológica) de medidores tipo indução de energia elétrica ativa.** 2010. 165 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. São Paulo, 2010.

Smart Grid Communications. NIST. Disponível em: <https://www.nist.gov/programs-projects/smartgrid-communications-0>. Acesso em 15 de maio de 2022.

Smart Grid. GTA UFRJ. 2021. Disponível em: https://www.gta.ufrj.br/ensino/eel878/redes1-2016-1/16_1/smartgrid/. Acesso em 20 de maio de 2022.

TARIFA BRANCA. Aneel. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/tarifa-branca>. Acesso em 05 de maio de 2022.

VIEIRA, Daniel; SHAYANI, Rafael Amaral; OLIVEIRA, Marcos Aurelio Gonçalves. **Net Metering in Brazil: regulation, opportunities and challenges.** IEEE Latin America Transactions, v. 14, nº 8, p3687- 3694, 2016.

Zhou et al. (2010) **found a positive and significant relationship between task-technology fit and performance expectancy in the context of mobile banking.** Similarly, Im et al.

WERFF, E.; THOGERSEN, J.; BRUIN, W.B. **Changing Household Energy Usage: The Downsides of Incentives and How to Overcome Them,** IEEE Power and Energy Magazine, vol. 16, no. 1, pp. 42-48, Jan-Feb. 2018

Wiki da biblioteca UPM. Disponível em: <https://iotdk.intel.com/docs/master/upm/modules.html>. Acesso em 05 de maio de 2022.

Wiki da biblioteca MRAA. Disponível em: <https://iotdk.intel.com/docs/master/mraa/python/index.html>. Acesso em 05 de maio de 2022.

MULTIVIX

CENTRO UNIVERSITÁRIO