



ENGENHARIA: SOLUÇÕES E INOVAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO

VOLUME IV

Frederico Celestino Barbosa

Engenharia: soluções e inovações para o desenvolvimento

4ª ed.

Piracanjuba-GO
Editora Conhecimento Livre
Piracanjuba-GO

4ª ed.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Barbosa, Frederico Celestino
B238E Engenharia: soluções e inovações para o desenvolvimento
/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2023

284 f.: il

DOI: 10.37423/2023.edcl687

ISBN: 978-65-5367-291-8

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. projeto 2. construção 3. melhorias I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 620

<https://doi.org/10.37423/2023.edcl687>

O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.

EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

MSc Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Wesley Pacheco Calixto

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

MSc Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

MSc Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

CAPÍTULO 1	6
ENFRENTAMENTO DA CRISE HÍDRICA: AS LIÇÕES APRENDIDAS NO PROCESSO OPERAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA	
Juliana Fernandes Eichstadt Ciro Cesar Falcucci Lemos DOI 10.37423/230307340	
CAPÍTULO 2	14
REGULADOR LINEAR QUADRÁTICO(LQR) COM AÇÃO INTEGRAL APLICADO AO CONVERSOR BOOST COM CARGA NÃO LINEAR	
ELIEZIO FARIAS DO NASCIMENTO VANDILBERTO PEREIRA PINTO ANDRÉ SANTOS LIMA WASHINGTON LUIS A. SIQUEIRA DOI 10.37423/230307341	
CAPÍTULO 3	33
INGRESSO, EVASÃO E CONCLUSÃO ANÁLISE DAS TURMAS DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UFPA ENTRE 2011 E 2019	
Rodrigo da Silva Magalhães Dias Léo César de Oliveira Pereira Edil Silva De Vilhena Roberto Tetsuo Fujiyama DOI 10.37423/230307342	
CAPÍTULO 4	47
FERRAMENTA INFORMATIZADA PARA DETECÇÃO DE ANORMALIDADES NO CONSUMO MENSAL DE ÁGUA: UMA APLICAÇÃO PRÁTICA	
Luiz Carlos Dias Junior Ramon Lucas Dalsasso Diorges Filipe Lohn DOI 10.37423/230307357	
CAPÍTULO 5	59
TÉCNICA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA DA QUALIDADE COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO - ESTUDO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO NA CALIBRAÇÃO NO SETOR PRODUTIVO	
Sebastião Raimundo de Jesus Belém Leitão Filho Wellinton de Assunção Jean Robert Pereira Rodrigues Fernando Lima de Oliveira Wenio Fhara Alencar Borges Mauro Araújo Medeiros Antonio Santos Araujo Junior DOI 10.37423/230307358	

CAPÍTULO 6	70
DIMERIZAÇÃO DINÂMICA DE LUMINÁRIAS LED PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA: ESTUDO DE CASO	
VINICIUS SANTOS COSTA	
Cristina de Abreu Silveira	
Wild Freitas da Silva Santos	
DOI 10.37423/230307359	
CAPÍTULO 7	102
A TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS VERDE	
MARCELA MARÇAL ALVES PINTO MICK	
JOÃO LUIZ KOVALESKI	
Rui Tadashi Yoshino	
DOI 10.37423/230307366	
CAPÍTULO 8	121
DESINFECÇÃO DE EFLUENTE SANITÁRIO: APLICAÇÃO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM EFLUENTE DE UMA EMPRESA NO MUNICÍPIO DE IPATINGA/MG.	
AMANDA DUQUE CARVALHO MARTINS	
LETÍCIA ROQUE DE CARVALHO SOUZA	
POLIANE VALÉRIA FERREIRA	
DOI 10.37423/230307377	
CAPÍTULO 9	167
O USO DA ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE É VIÁVEL PARA A RETROALIMENTAÇÃO DE UMA PRÓTESE DE JOELHO ATIVA?	
THANYZE ALICE VICENTINI ZOCCOLI	
RAFAELLA CARVALHO DA SILVA	
CAMILA CADENA DE ALMEIDA	
BRUNA DA SILVA SOUSA	
THIAGO LOPES AMARAL	
VERA REGINA FERNANDES DA SILVA MARÃES	
DOI 10.37423/230307384	
CAPÍTULO 10	178
COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE ANCORAGENS PRÉ-INSTALADAS EM ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO	
Ivana Beatriz Antunes Pinheiro	
Solange Pereira da Silva Mendonça	
DOI 10.37423/230307427	

CAPÍTULO 11	198
REÚSO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM ESCOLAS PÚBLICAS: UMA PROPOSTA DE SAÚDE AMBIENTAL.	
Larissa Queiroz da Silva	
Dayana Melo Torres	
Dário Xavier de Lima Júnior	
DOI 10.37423/230307432	
 CAPÍTULO 12	 207
ANÁLISE DE UM ROLETE PRODUZIDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO	
Davi Magno	
Ícaro Roberto	
DOI 10.37423/230307445	
 CAPÍTULO 13	 221
ESTUDO DA VIABILIDADE DE EMULSÕES A BASE DE ÓLEOS VEGETAIS PARA USO EM PROCESSOS DE USINAGEM DE LIGA DE ALUMÍNIO 6061	
Caroline carvalho Ferreira	
Janaína Fracaro de Souza Gonçalves	
DOI 10.37423/230307450	
 CAPÍTULO 14	 246
ENGENHARIA CIVIL - ANÁLISE DAS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS PARA TORRES DE TELECOMUNICAÇÃO E INFLUÊNCIAS APLICADAS EM POSTE AUTOPORTANTE	
Gleybson Lima	
João Antonio Silva	
Jose Almeida	
Victor Teixeira	
DOI 10.37423/230307494	

Capítulo 1



10.37423/230307340

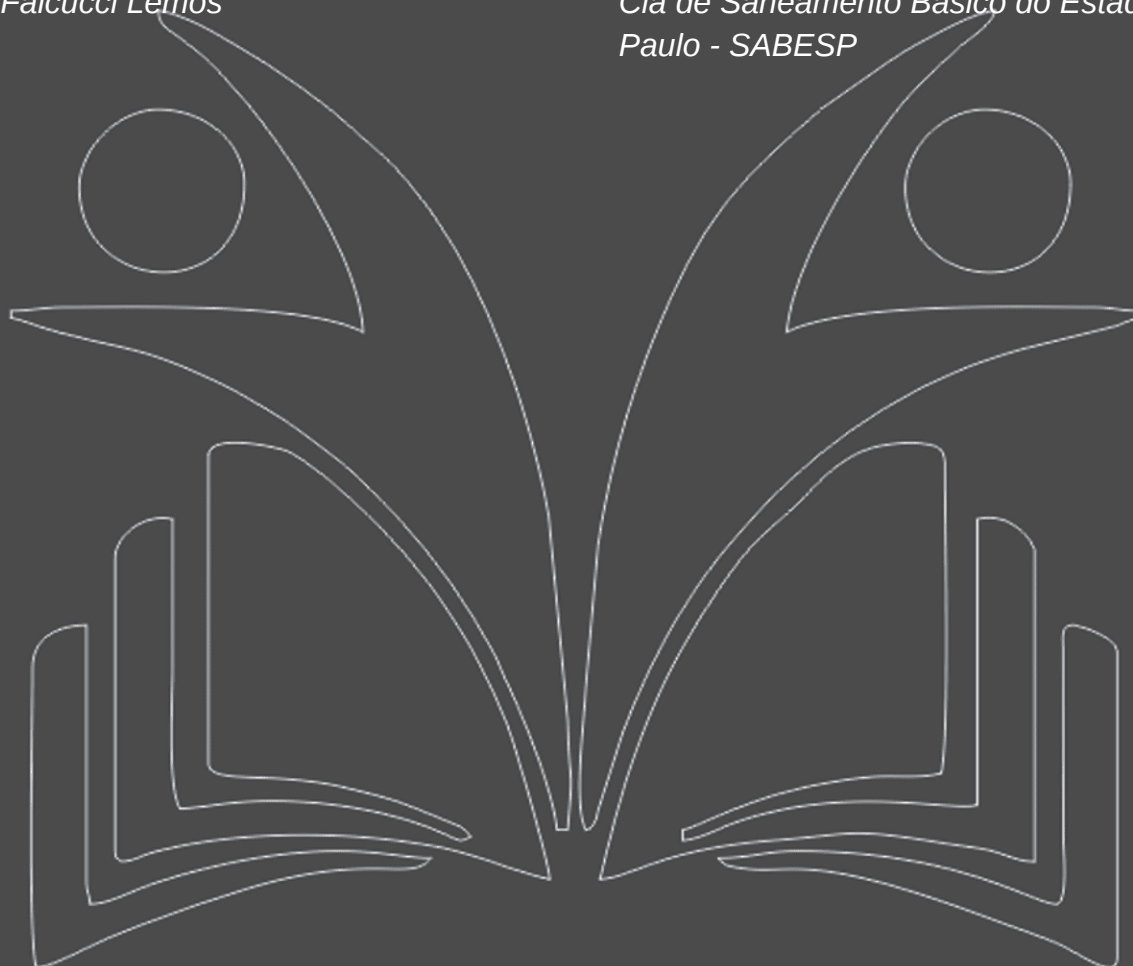
ENFRENTAMENTO DA CRISE HÍDRICA: AS LIÇÕES APRENDIDAS NO PROCESSO OPERAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA

Juliana Fernandes Eichstadt

*Cia de Saneamento Básico do Estado de São
Paulo - SABESP*

Ciro Cesar Falcucci Lemos

*Cia de Saneamento Básico do Estado de São
Paulo - SABESP*



OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo apresentar a estratégia de atuação adotada por uma unidade responsável pelo processo Distribuição de Água, frente à crise hídrica que se estabeleceu na região metropolitana de São Paulo em 2014/2015 com a quebra de paradigmas na operação do sistema de abastecimento; geração de novos aprendizados em novos cenários hídricos, fortalecimento do processo de planejamento e gestão e minimização dos impactos aos clientes, sociedade e demais partes interessadas.

METODOLOGIA UTILIZADA

Entre outubro/2013 a fevereiro/2014 ocorreram 444mm de chuvas na região dos mananciais que abastecem a região metropolitana de São Paulo, cuja média é de 995mm, ou seja, redução de 55% do volume. Ao longo de 2014, os índices pluviométricos ficaram muito abaixo das médias históricas, com consequências alarmantes para os sistemas de captação, produção e distribuição de água. A estiagem foi um evento excepcional, sem precedentes na série histórica de observações registradas.

O modelo até então vigente em período de escassez hídrica, era o rodízio do abastecimento que consistia em interromper o fornecimento de água à população a partir de regras pré-estabelecidas, alternando períodos com e sem abastecimento. O método de trabalho no rodízio inicia-se pela análise da vazão original de determinado setor, agrupando-os em blocos para viabilizar as manobras em campo (abertura e fechamento de válvulas, acionamento e desligamento de bombas e outras ações). A adoção do rodízio no abastecimento poderia gerar vários prejuízos especialmente em imóveis distantes e localizados em pontos mais altos, que poderiam ficar dias sem abastecimento, consequências de um rodízio severo.

A Alta Administração tomou uma decisão que acarretou numa significativa mudança de paradigma na forma de gerir o abastecimento de água. A decisão de não implantar o método do rodízio e partir para outras ações que reduzissem a vazão de retirada dos sistemas de abastecimento mais críticos foi o ponto de partida para que a Unidade prontamente estabelecesse um novo método de trabalho para a operação do sistema de distribuição de água.

Para estabelecer um plano de atuação que atendesse satisfatoriamente cerca de 3,5 milhões de clientes, alguns fatores deveriam ser considerados: os sistemas de produção de água, as instalações existentes, especialização da mão de obra, capacidade de recuperação dos setores e as características

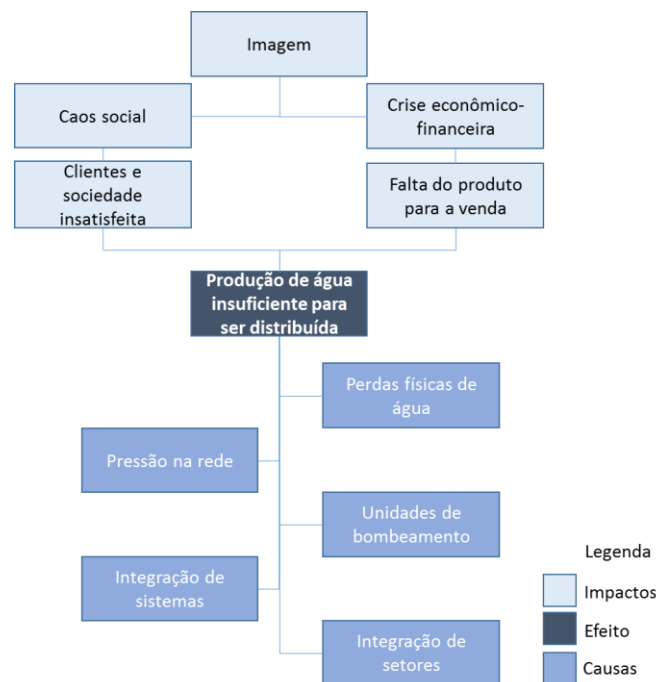
das estações de bombeamento, localização de pontos estratégicos como: Hospitais, escolas, etc. (as condições dos ativos, da infraestrutura de distribuição de água, os recursos humanos, materiais e financeiros).

A partir da metodologia de análise e soluções de problemas (MASP), foi estabelecido um conjunto de ações conforme descrito na tabela 1.

Tabela 1: Método de Análise e Solução de Problemas

PDCA	FASE	O que deve ser feito	Como foi feito
P	1 Identificação	Identificar o problema e definir os objetivos a serem alcançados	Reduzir a vazão de retirada dos sistemas de abastecimento de água
	2 Observação	Investigação das características do problema com visão ampla	Levantar as variáveis no processo de operação e prováveis impactos Utilizar metodologia da árvore de causa e efeito
	3 Análise	Definição das causas fundamentais	Simular e avaliar as alternativas Analisar viabilidade de implantação Levantar os recursos necessários
	4 Plano de ação	Elaboração de plano para bloqueio das causas fundamentais	Estabelecer cronograma e sequenciamento de ações decorrente das alternativas de solução propostas
D	5 Execução	Bloquear/ minimizar as causas fundamentais	Executar as ações planejadas
C	6 Verificação	Verificar se as ações foram efetivas	Verificar efetividade das ações tomadas Acompanhar comportamento dos indicadores Realizar ações imediatas e corretivas Encontros diários com as equipes e reuniões semanais. Reuniões com lideranças regional de bairros.
A	7 Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema	Redefinir padrão de trabalho com as equipes
	8 Conclusão	Recapitular todo o processo de solução para utilização futura (lições aprendidas)	Disseminar os novos padrões de trabalho Registrar todo o processo

Com a decisão de limitar o volume de água a ser distribuído, o primeiro passo a ser dado foi o levantamento dos fatores relacionados à variação da vazão. As informações geradas pela área de engenharia da operação foram organizadas numa árvore de causa e efeito, conforme figura abaixo.



Cada fator (identificado como “causa” no diagrama) foi analisado em relação a capacidade e a elasticidade para suportar a redução da vazão que seria necessária. Em janeiro/2013, a vazão recebida era de 12,5 m³/s e em janeiro/2015 passou a ser de 8,7m³/s no auge da crise, atualmente apresenta valores da ordem de 10,4 m³/s , o que representa um pouco mais de 2000 l/s economizados. Esse volume representa, em 3 anos, a capacidade de se abastecer os clientes da unidade em 1 ano, se considerada a vazão micro medida. A tabela 2 ilustra as ações definidas após a análise, simulação e avaliação das alternativas de atuação.

Tabela 2 – Ações para suportar a redução da vazão

	O que	Como
1	Pressão na rede	Redução da pressão na rede de modo a atender às demandas diárias de toda a população
2	Válvulas redutoras de pressão	Otimização das pressões
3	Ventosas	Manutenção, substituição e instalação
4	Setorizações	Ajustes de setores, flexibilizando e otimizando os sistemas
5	Boosteres e elevatórias	Otimização dos equipamentos existentes Desativação de equipamentos a partir das análises de setorização perda de carga e limites. Abertura e revitalização de poços
6	Interligações	Interligações de redes de água para agilizar (recuperação) Interligações dos sistemas de abastecimento de água para promover flexibilização dos sistemas
7	Comercial	Ações de varredura para detecção de fraudes
8	Manutenção	Redução do tempo médio de reparo Detecção de vazamentos não visíveis Troca preventivas de ramais de água
9	Mão de obra	Capacitação e desenvolvimento
10	Marketing	Identificação de vazamentos, conscientização da população
11	Contingenciamento	Caminhões tanque

A unidade acompanhou diariamente a execução das ações definidas, bem como os resultados decorrentes das mesmas, possibilitando atuações imediatas.

Análises do novo comportamento da sociedade e operação frente a nova condição e dos volumes disponíveis.

Foram utilizados histogramas de consumo e produção, com forte análise junto às unidades comerciais.

Antes da crise, a unidade possuía 337 Válvulas Redutoras de Pressão – VRPs, cobrindo 40,5% de toda a rede de distribuição.

As válvulas são equipamentos que controlam a pressão nas redes de distribuição, reduzindo a ocorrência de rompimentos em redes e ramais.

De maio a setembro/2014 foram otimizados 70 equipamentos, resultando numa redução média de 15 mca e 180 L/s.

De janeiro a dezembro/2014 foram instalados 10 novos equipamentos com ganho de 20 L/s.

Atualmente existem 365 VRPs cobrindo uma área de 44,8% da unidade.

RESULTADOS OBTIDOS OU ESPERADOS

Os resultados podem ser divididos em duas categorias, gestão e operacional.

Gestão:

- Integração entre as diversas áreas da companhia, possibilitando ações integradas e melhor entendimento das mesmas;
- Motivação da equipe e força de trabalho;
- Planejamento das atividades;
- Acompanhamento e controle das ações possibilitando atuações imediatas;
- Otimização dos recursos disponíveis através do planejamento integrado das ações;
- Gestão dos prazos dos projetos através de indicadores e ferramentas específicas;
- Gestão dos resultados operacionais e seus impactos nos resultados estratégicos.
- Incentivo para busca de novas soluções e novas formas de trabalho.

Operacional:

- Grande redução das perdas de água
- Contabilização dos retornos em volume de cada ação para o enfrentamento da crise hídrica;
- Eficiência energética;
- Eficiência operacional do processo de distribuição de água;
- Relação gestão noturna X temperatura

Período de gestão conforme a variação de temperatura.

Temperatura	Período de gestão noturna
> 18° C 14 a 18° C 10 a 14° C 7 a 10° C < 7° C	24 às 04 horas 23 às 05 horas 21 às 05 horas 20 às 05 horas 19 às 05 horas

Principais Resultados	2013	2014	2015
Redução de reclamações de falta d'água (1º semestre)	99.516	86.248	83.740
Tempo médio de reparo de vazamentos	n/c	82 horas	26 horas
Índice de perdas (Litros/ligação/dia)	515	507	495

Houve a redução dos prazos de atendimento para reparo de vazamentos (demanda de 400 vazamentos/dia, com o tempo médio de reparo de 82 horas em janeiro/2014 para 26 horas em julho/2014).

ANÁLISE DOS RESULTADOS

1. Garantia do abastecimento para toda a população da região metropolitana de São Paulo;
2. Evitou a entrada de rodízio de abastecimento que teria configurações 5x2, ou seja, 5 dias sem água para 2 sem água, que poderia levar caos a vários seguimentos da sociedade;
3. Economia de água suficiente para atender a região por um ano, considerando a vazão micromedida.
4. Economia de água suficiente ao atendimento de uma população aproximada de 1,2 milhões de habitantes, ou o correspondente às ETAs Alto e Baixo Cotia.
5. Preservação do meio ambiente.
6. Maior interação entre as equipes.
7. Melhoria das condições operacionais.
8. Cultura empresarial melhorada.

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

As ações tomadas durante o período da crise foram reavaliadas, validadas e adotadas pela empresa como ações de rotina garantindo a sustentabilidade do negócio e atendendo a população envolvida entregando água com qualidade e quantidade, com os benefícios aos sistemas operacionais, humanos e ao meio ambiente.

Tabela 2 – Mudança de paradigmas

	De	Para
Redução de vazão da produção de água	Rodízio no fornecimento	Gestão de pressão
Distribuição de água à população	Água não pode faltar	Gestão da demanda

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Sabesp: CHES
2. Manual de hidráulica, Netto Azevedo
3. Manuais de Operação de Água da Sapporo Waterworks – Cidade de Sapporo, Hokkaido, Japão.
4. Advanced Water Distribution Modeling and Management

Capítulo 2



10.37423/230307341

REGULADOR LINEAR QUADRÁTICO(LQR) COM AÇÃO INTEGRAL APLICADO AO CONVERSOR BOOST COM CARGA NÃO LINEAR

ELIEZIO FARIAS DO NASCIMENTO

*Universidade Federal do Ceará Campus
Mucambinho–Sobral*

VANDILBERTO PEREIRA PINTO

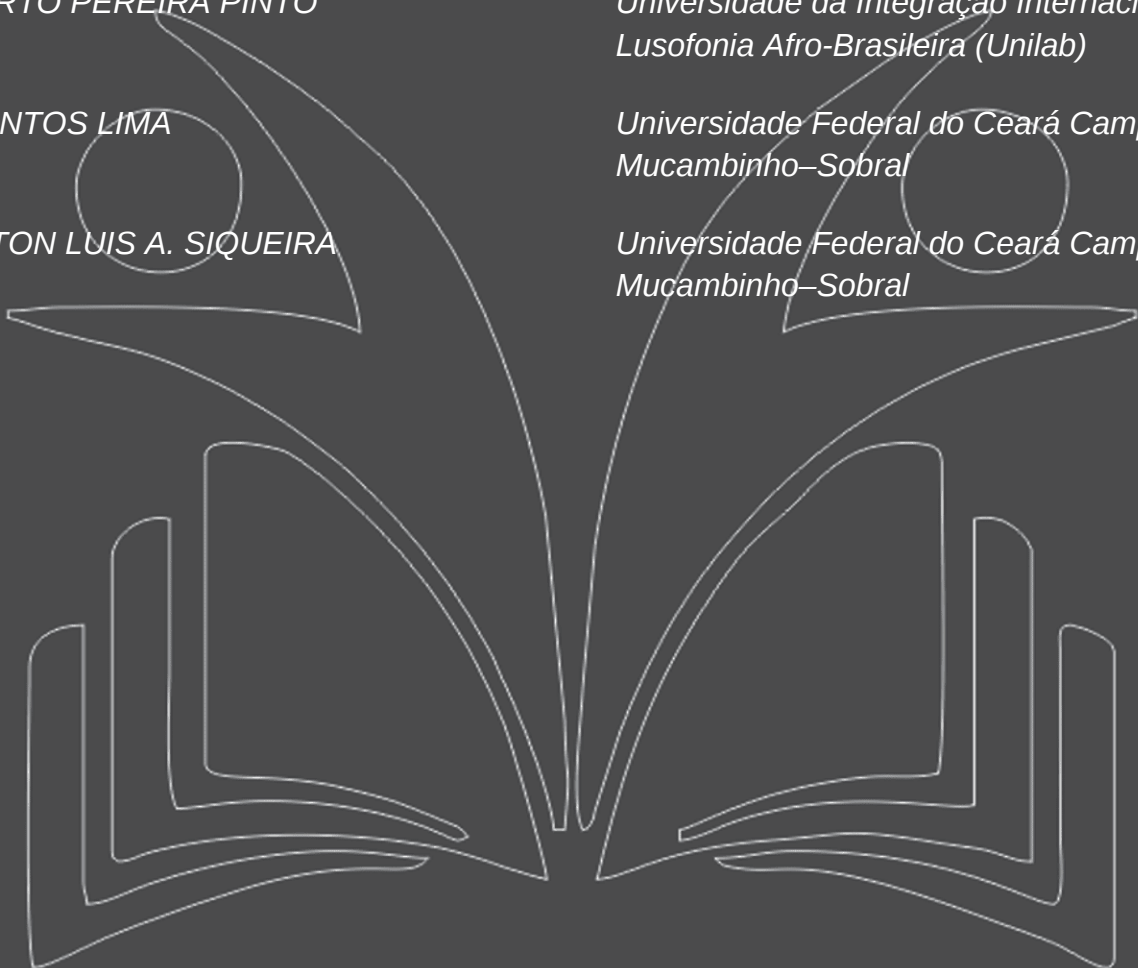
*Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira (Unilab)*

ANDRÉ SANTOS LIMA

*Universidade Federal do Ceará Campus
Mucambinho–Sobral*

WASHINGTON LUIS A. SIQUEIRA

*Universidade Federal do Ceará Campus
Mucambinho–Sobral*



Resumo: A crescente evolução das técnicas de controle, bem como sua viabilidade econômica e aplicabilidade, vêm aumentando e destacando a utilização de conversores CC-CC em variados ramos da Engenharia Elétrica. Neste trabalho, é apresentada a utilização do controlador LQR aplicado a um conversor Boost com carga não linear. O conversor Boost trata-se de um elevador de tensão, caracterizado por ter entrada e saída em tensão e cargas não lineares são aquelas que, quando conectadas numa fonte de tensão, solicitam desta uma corrente a qual não apresenta a mesma forma de onda da tensão. Essas correntes possuem componentes harmônicas em frequências diferentes da fundamental, as quais, quando circulam através das impedâncias da linha ou de equipamentos, provocam quedas de tensão que interferem no funcionamento dos demais equipamentos conectados à mesma fonte de tensão. Desta forma, a disseminação do uso de carga não linear afeta a qualidade da tensão fornecida aos consumidores de energia elétrica, aos residenciais, aos comerciais e principalmente aos industriais. A partir do modelo matemático do conversor, é possível obter informações sobre a estabilidade do sistema deste conversor antes e depois da presença de perturbações externas. Um sistema é considerado estável quando, para entradas finitas, existem respostas finitas; caso contrário, este se torna instável. Do ponto de vista do conversor, alimentar cargas não lineares requer o uso de um sistema de controle robusto para evitar a instabilidade.

Palavras-chave : Controle ótimo, Gerador de indução duplamente alimentado, Conversor de Potência

1. INTRODUÇÃO

O regulador linear quadrático (LQR) é um método da teoria de controle moderno que faz uso da realimentação de estados para analisar os sistemas dinâmicos (Wongsathan, 2008). É utilizado com o objetivo de garantir a estabilidade do sistema frente a pequenas perturbações, melhorando o tempo de resposta e sobressinal, ao minimizar a energia despendida no processo. Uma propriedade interessante neste tipo de controlador é que apresenta margens de ganho infinito e margens de fase superior a 60° , características estabelecidas como requisitos em aplicações de eletrônica de potência (Olalla, 2009).

O conversor Boost é amplamente utilizado em circuitos de correção de fator de potência e em diversas outras aplicações que necessitam da elevação e regulação de tensão, ou seja, a busca por modelos e formas de controle deste conversor segue uma tendência de aprimoramento e evolução (Batschauer, 2012).

Cargas não lineares são aquelas que têm sua corrente não uniforme. Muitos equipamentos eletrônicos possuem semicondutores como diodos e transistores, que possuem características de conduzir corrente de forma não linear, apresentando descontinuidade em determinados momentos. O simples fato de ligar e desligar uma lâmpada pode ser considerado como uma carga não linear, já que isto faz com que ela mude de valor.

A dificuldade da modelagem de cargas não lineares reside na complexidade da corrente que apresentam em resposta às tensões impostas. Estas correntes, frequentemente, têm formas muito diferentes se comparadas com a tensão aplicada, o que não ocorre com cargas lineares. Por exemplo, em resposta às tensões senoidais, acontecem correntes compostas por diversos harmônicos. Além disso, estes harmônicos podem causar ruídos na rede elétrica, fazendo com que a tensão deixe de ser uma senóide.

2. MODELAGEM DO CONVERSOR BOOST

A modelagem matemática do conversor, operando no modo contínuo, será apresentada em espaços de estados. O circuito elétrico da Figura 1 representa o conversor Boost, onde se levaram em conta as resistências série parasitas do indutor e do capacitor (r_L e r_C). Este circuito apresenta duas etapas de operação, as quais são descritas a seguir, devido ao chaveamento do interruptor controlável SB que se encontra aberto ou fechado dependendo do sinal obtido da modulação PWM.

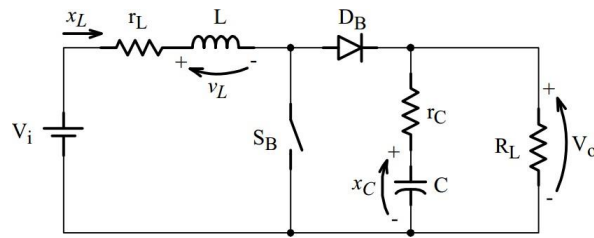


Figura 1. Conversor Boost.

O sinal PWM mostrado na Figura 2 apresenta um nível lógico alto que permanece por certa fração de tempo do período T de chaveamento e este percentual do período chamou-se de razão cíclica D , desta forma representa o intervalo de tempo em que o interruptor conduz corrente elétrica por DT_s .

Na outra fração de tempo do período, complementar à D , o interruptor permanece em corte.

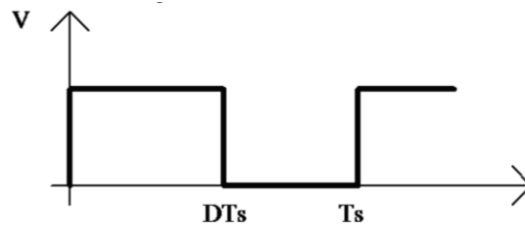


Figura 2. Sinal PWM aplicado à chave.

Cada etapa de operação apresenta um conjunto de equações de estado. A seguir, os estados x_L e x_C correspondem à corrente elétrica no indutor e à tensão no capacitor, respectivamente, logo seus termos derivativos são dados por:

$$\dot{x}_L = \frac{di_L}{dt} \quad (1)$$

$$\dot{x}_C = \frac{dv_C}{dt} \quad (2)$$

2.1 ETAPA 1 DE OPERAÇÃO DO CONVERSOR BOOST

Na primeira etapa de operação do conversor, mostrado na Figura 3, o interruptor conduz e o indutor armazena energia elétrica.

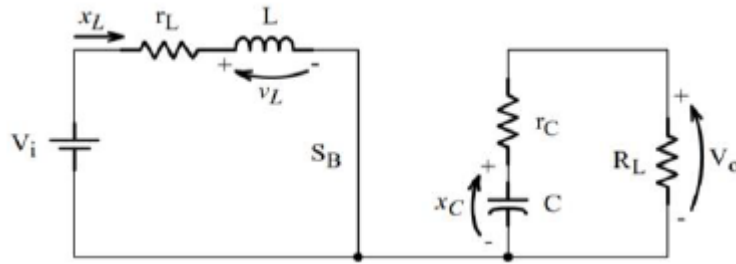


Figura 3. 1ª etapa da operação.

A representação para a etapa 1 de operação na forma de espaço de estados é dada por(Dupont, 2010):

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_L \\ \dot{x}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_L}{L} & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C(R_L+r_C)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ x_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L \\ 0 \end{bmatrix} V_i \quad (3)$$

$$v_0 = \begin{bmatrix} 0 & \frac{R_L}{(R_L+r_C)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ x_C \end{bmatrix} \quad (4)$$

2.2 ETAPA 2 DE OPERAÇÃO DO CONVERSOR BOOST

Na segunda etapa de operação do conversor, mostrado na Figura 4, o interruptor não conduz e o indutor transfere energia elétrica para a carga R_L juntamente com a fonte de alimentação contínua V_i .

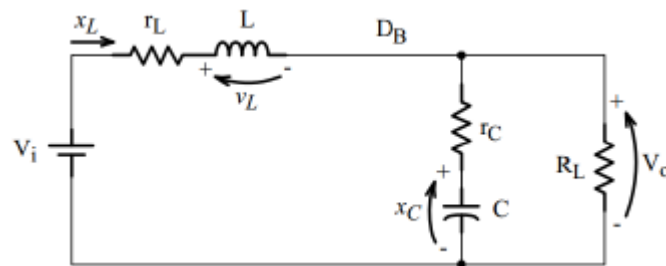


Figura 4. 2ª etapa de operação.

A representação para a etapa 2 de operação na forma de espaço de estados é dada por(Dupont, 2010):

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_L \\ \dot{x}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{[(r_L+r_C)R_L+r_L \cdot r_C]}{L(R_L+r_C)} & -\frac{R_L}{L(R_L+r_C)} \\ \frac{R_L}{C(R_L+r_C)} & -\frac{1}{C(R_L+r_C)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ x_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1/L \\ 0 \end{bmatrix} V_i \quad (5)$$

$$v_0 = \begin{bmatrix} \frac{R_L \cdot r_C}{R_L+r_C} & \frac{R_L}{(R_L+r_C)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ x_C \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.2 MÉDIA DO ESPAÇO DE ESTADOS

Obtido as equações referentes a cada estado de operação do conversor, é necessário ponderá-las ao longo do período de comutação para que a média do espaço de estados seja obtida. As matrizes de estado são ponderadas utilizando as seguintes equações:

$$A=A_1D+A_2(1-D) \quad (7)$$

$$B=B_1D+B_2(1-D) \quad (8)$$

$$C=C_1D+C_2(1-D) \quad (9)$$

Onde D é a razão cíclica e (1 - D) seu complementar. Resolvendo as equações (7), (8) e (9) se têm as seguintes matrizes do sistema linearizado:

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \left(r_L + \frac{R_L r_C (1-D)}{(R_L+r_C)} \right) & -\frac{1}{L} \left(\frac{R_L (1-D)}{(R_L+r_C)} \right) \\ \frac{R_L (1-D)}{C(R_L+r_C)} & -\frac{1}{C(R_L+r_C)} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$B = \begin{bmatrix} 1/L \\ 0 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$C = \begin{bmatrix} \frac{R_L r_C (1-D)}{(R_L+r_C)} & \frac{R_L}{(R_L+r_C)} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Um passo importante na modelagem de conversores é a introdução de perturbações, conhecidas por pequenas variações CA nos valores médios das variáveis. Desta forma, cada variável da modelagem passa a ser representada como seu valor médio somado à perturbação, como mostrado nas seguintes equações:

$$X = X_{MED} + X_{pert} \quad Y = Y_{MED} + Y_{pert} \quad (13)$$

$$u = u_{Med} + u_{pert} \quad D = D_{MED} + D_{pert} \quad (14)$$

A modelagem, utilizando o modelo com perturbações, é considerada não linear e necessita de tratamento e aproximações adicionais para ser descrita como linear. Para que as equações possam ser linearizadas é necessário que as perturbações sejam dadas em valores bem menores que os valores médios das variáveis. Após a anulação de termos e aproximações, tem-se que as matrizes que representam o modelo linear e invariante no tempo para pequenas perturbações são dadas por (Dupont, 2010):

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} \left(r_L + \frac{R_L r_C (1-D)}{(R_L + r_C)} \right) & -\frac{1}{L} \left(\frac{R_L (1-D)}{(R_L + r_C)} \right) \\ \frac{R_L (1-D)}{C(R_L + r_C)} & -\frac{1}{C(R_L + r_C)} \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \left(\frac{R_L r_C}{(R_L + r_C)} \right) \cdot x_{Leq} + \frac{R_L}{L(R_L + r_C)} \cdot x_{Ceq} \\ -\frac{R_L}{C(R_L + r_C)} \cdot x_{Leq} \end{bmatrix} \quad (16)$$

$$v_0 = \begin{bmatrix} \frac{R_L r_C (1-D)}{(R_L + r_C)} & \frac{R_L}{(R_L + r_C)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ x_C \end{bmatrix} - \frac{R_L r_C}{(R_L + r_C)} \cdot x_{Leq} \cdot D_{pert} \quad (17)$$

Onde x_{Leq} e x_{Ceq} são os valores de equilíbrio das variáveis de estado e serão calculados, logo a seguir, em função dos parâmetros de operação do conversor Boost.

3. ESTRATÉGIA DE CONTROLE

A filosofia do projeto LQR é estabelecer um compromisso entre as energias do vetor de estado $(t)x_t$ e do vetor de controle $(t)u_t$, através da seguinte função de custo a ser minimizada (Skogestad, 2005).

$$J = \min_{u(t)} \int x'(t) Q(t) x(t) + u'(t) R(t) u(t) dt \quad (18)$$

Sendo Q e R matrizes definidas positivas, $Q > 0$ e $R > 0$. Supondo-se que o sistema seja estabilizável, ou seja, controlável, a lei de controle que estabiliza o mesmo e minimiza o critério é:

$$u(t) = -Kx(t) \quad (19)$$

Sendo:

$$K = R^{-1} B' P \quad (20)$$

A matriz P, definida positiva, é solução da equação de *Ricatti* a seguir (Skogestad, 2005):

$$A'P + PA - PBR^{-1}B'P + Q = 0 \quad (21)$$

O diagrama de blocos do LQR é mostrado na Figura a seguir.

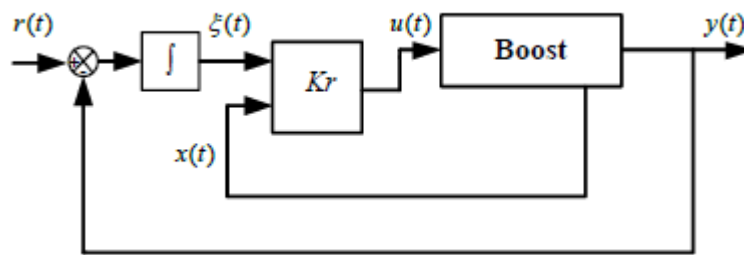


Figura 5. Diagrama de blocos do controle LQR

Utilizando-se a definição das matrizes aumentadas tem-se:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{\xi}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & 0 \\ -C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ \xi(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \quad (22)$$

Sendo:

$$u(t) = -Kx(t) + K_I \xi(t) \quad (23)$$

Observa-se pelo princípio da realimentação de estados que

$$Kr = \begin{bmatrix} K & -K_I \end{bmatrix} \quad (24)$$

Sendo Kr um bloco matricial de ganhos, formado pelas matrizes K e K_I . Logo:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{\xi}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A - BK & BK_I \\ -C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ \xi(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ I \end{bmatrix} r(t) \quad (25)$$

4. PROJETO DO CONTROLADOR

Para iniciar o projeto do controlador LQR é necessário encontrar os pontos de equilíbrio do conversor Boost, resolvendo as seguintes equações:

$$0 = AX_{eq} + BU_{eq} \quad (26)$$

$$Y_{eq} = CX_{eq} + dU_{eq} \quad (27)$$

X_{eq} = Vetor de estado de equilíbrio

U_{eq} = Vetor de entrada

Y_{eq} = Vetor de saída de equilíbrio

$$X_{eq} = \begin{bmatrix} x_{Leq} \\ x_{Ceq} \end{bmatrix}$$

$$Y_{eq} = v_{0eq}$$

A matriz d apresentada na equação (27) é a matriz de transmissão direta do sinal de controle e considerada nula para este sistema. Assumindo que as matrizes das equações (26) e (27) possuam inversas, pode-se resolvê-las para encontrar:

$$\begin{bmatrix} x_{Leq} \\ x_{Ceq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(R_L + r_C)V_i}{R_L(R_L(1-D) + r_C)(1-D) + (R_L + r_C)r_L} \\ \frac{R_L(R_L + r_C)V_i(1-D)}{R_L(R_L(1-D) + r_C)(1-D) + (R_L + r_C)r_L} \end{bmatrix} \quad (28)$$

$$v_{0eq} = \frac{R_L(R_L + r_C)V_i(1-D)}{R_L(R_L(1-D) + r_C)(1-D) + (R_L + r_C)r_L} \quad (29)$$

Devem-se substituir os parâmetros do conversor nas matrizes de equilíbrio, logo os parâmetros utilizados estão na tabela abaixo:

Tabela 1. Parâmetros de operação do Boost

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
Tensão de entrada (V_i)	40V	C	947nF
Tensão de saída (V_o)	127V	r_C	20m Ω
Frequência (f_s)	30kHz	L	6mH
Potência na saída (P_o)	60W	r_L	4m Ω
Razão cíclica (D)	68.5%	R_L	268.8 Ω

Desconsiderando as resistências internas do capacitor e do indutor, Calcularam-se as matrizes A,

B e C, que descrevem o comportamento dinâmico do sistema, logo se pode rearranjá-lo da seguinte forma:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_L \\ \dot{x}_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & -50 \\ 3,33 \times 10^5 & -3930 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ x_C \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 21200 \\ -1,58 \times 10^6 \end{bmatrix} V_i \quad (30)$$

$$v_0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_L \\ x_C \end{bmatrix} \quad (31)$$

Com os parâmetros, mostrados na tabela 1, pode-se chegar aos seguintes valores de equilíbrio:

$$x_{Leq} = 1.49$$

$$x_{Ceq} = 126.98$$

$$v_{0eq} = 126.98$$

No controle por realimentação de estados, o sinal de controle depende das variáveis de estado, as quais precisam ser medidas ou devidamente estimadas.

Para que este tipo de controle possa ser feito, deve-se verificar a controlabilidade e a observabilidade do sistema analisado. Um sistema é completamente controlável se existir uma ação de controle irrestrita capaz de transferir qualquer estado inicial para qualquer outra posição. Já a observabilidade refere-se à capacidade de estimar uma variável de estado.

Sendo o sistema controlável e observável, pode-se definir um sinal de controle por realimentação de estados dado pela equação (19), onde K é o vetor de ganhos, representado por (32), a ser determinado para que o sistema seja estabilizado.

$$K = [K_1 \ K_2 \ \dots \ K_n] \quad (32)$$

Seja o sistema linear, contínuo e invariante no tempo, sua representação em malha fechada é dada por:

$$\dot{x} = (A - BK) \cdot x \quad (33)$$

Resolvido o problema do rastreamento assintótico, o próximo passo para o projeto do controlador é a obtenção do vetor de ganhos. O vetor de ganhos e consequentemente a saída do controlador são definidos basicamente pelas matrizes de ponderação Q e R. Como auxílio, para determinar as matrizes

Q e R, existem métodos automáticos, como, por exemplo, um método baseado em algoritmos genéticos, os quais são capazes de buscar a resposta dinâmica ótima, de acordo com certos critérios de projeto, sem muitos esforços analíticos. Neste trabalho serão utilizadas as metodologias apresentadas por (Johnson, 1987) para a escolha das matrizes de ponderação que caracterizam o desempenho do sistema de controle. Conhecido na literatura como método de Bryson ou como quadrado do inverso tem como ideia básica normalizar as saídas e o termo de controle dentro da função de índice de desempenho quadrático, onde as matrizes de ponderação Q e R são definidas como:

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & q_2 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & q_{ne} \end{bmatrix} \text{ e } R = \begin{bmatrix} r_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & r_2 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & r_{na} \end{bmatrix} \quad (34)$$

Onde “ne” é o número de estados e “na” é o número de atuadores no sistema de controle. O desempenho desejado, do sistema obtido pelo ajuste das matrizes de ponderações, é escolhido como (Bryson, 1969):

$$q_i = \frac{1}{(\Delta x_i)^2} \text{ e } r_i = \frac{1}{(\Delta u_i)^2} \quad (35)$$

Os valores de Δu_i são baseados no máximo esforço de controle ou valor máximo de operação dos atuadores. Já os valores de Δx_i são baseados na faixa/intervalo de operação dos estados.

Na Figura 6 é apresentado o fluxograma do programa implementado para o método de Bryson, conforme (Kwakernaak, 1972).

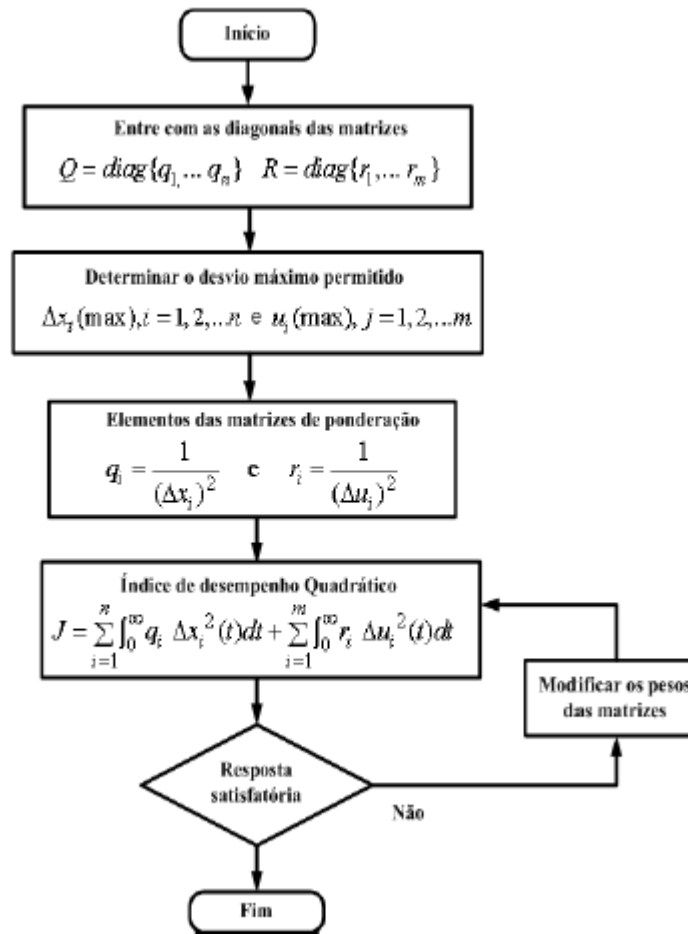


Figura 6. Algoritmo do Método de Bryson.

O comando l_{qr} do Matlab necessita das matrizes A , B , Q e R como parâmetros de entrada para determinar automaticamente o vetor de ganhos K_r .

Desta forma, após analisar os resultados para o gráfico da resposta dinâmica, do sistema para a entrada degrau, obtiveram-se as seguintes matrizes de ponderação:

$$Q = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 10^6 \end{bmatrix} \quad (36)$$

$$R = [10^3] \quad (37)$$

A partir das matrizes de ponderação e das matrizes aumentadas que descrevem o comportamento dinâmico do sistema, se obtém o seguinte vetor de ganhos para o controlador:

$$[K \ K_I] = [6.5891 \ -0.0127 \ -100] \quad (38)$$

5. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

O resultado da simulação do sistema em malha aberta, para entrada degrau unitário, é mostrado na Figura 7, onde nota-se que o sistema, apesar de ser estável, não segue a referência unitária e necessita da ação integral ou do rastreamento assintótico com erro nulo em regime permanente.

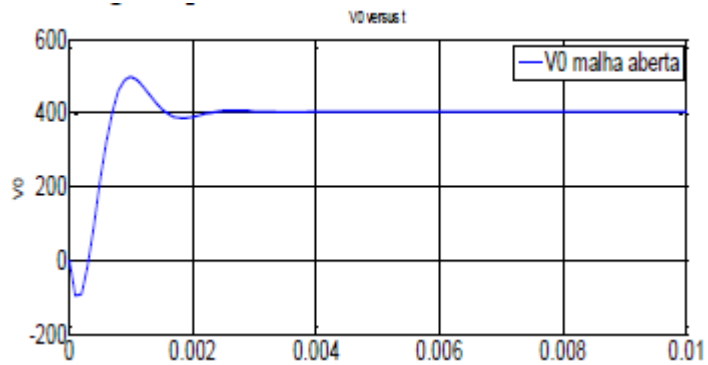


Figura 7. Resposta do sistema sem controlador

A Figura 8 mostra os resultados obtidos para diferentes valores da matriz Q , onde se alterou apenas o elemento Q_{33} . Após o fechamento de malha com o acréscimo do controlador LQR, o sistema segue a referência com rápido tempo de acomodação e nenhum overshoot.

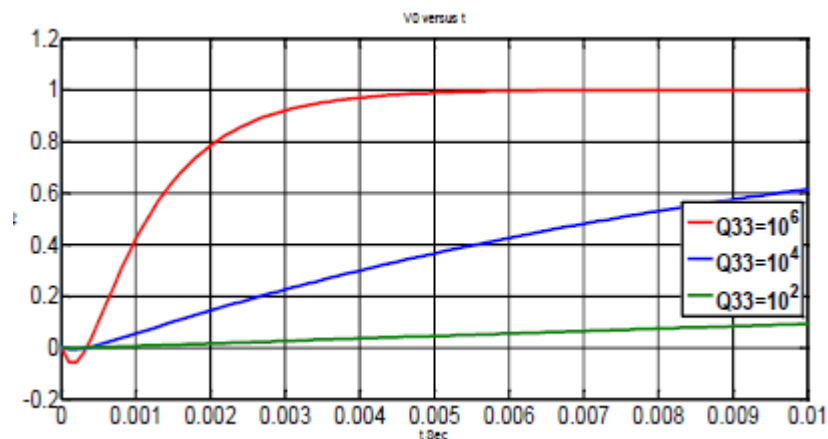


Figura 8. Resposta do sistema em malha fechada com atuação do controlador LQR.

Na figura 9 analisou-se o comportamento da corrente no indutor.

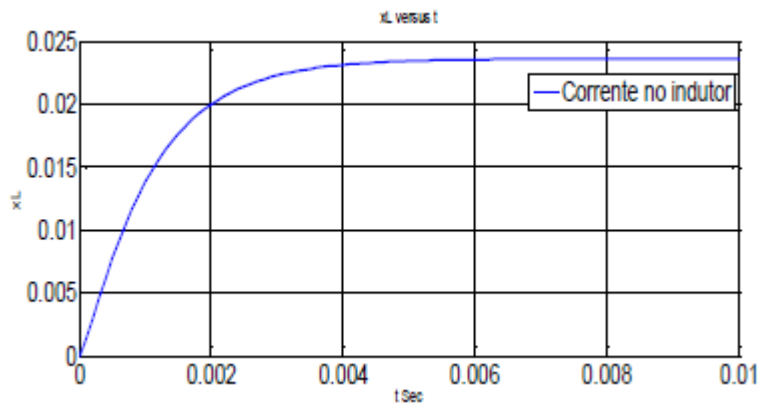


Figura 9. Variável de estado Lx .

Além da tensão na carga e da corrente no indutor analisou-se a variável de estado referente ao erro integrado, como mostrado na Figura 10.

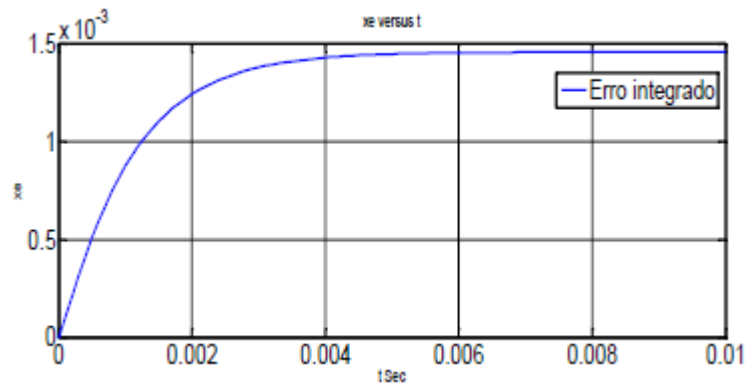


Figura 10. Variável de estado ξ .

Na Figura 11 pode-se comprovar que a ação integral consegue anular o erro em curto intervalo de tempo, o qual equivale ao tempo de estabilização da curva na Figura 8.

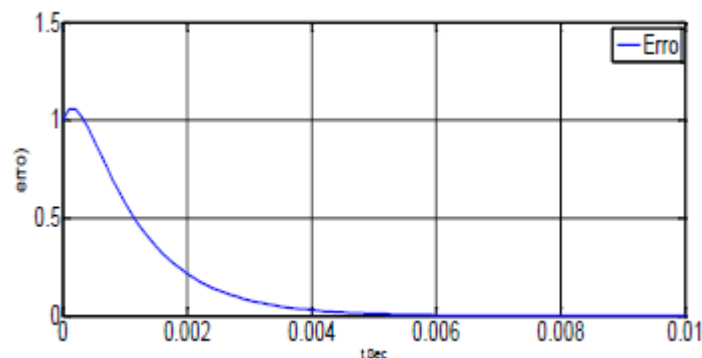


Figura 11. Simulação do erro.

O sinal de saída do controlador, mostrado na Figura 12, é enviado para o comparador responsável por gerar o sinal PWM. O comparador gera um sinal com frequência constante, resultante da comparação

entre o sinal de controle com um sinal dente serra na frequência de chaveamento que se desejar. Apesar de apresentar frequência e amplitude constantes, o sinal PWM pode ter sua largura de pulso alterada para compensar variações na potência de saída do conversor.

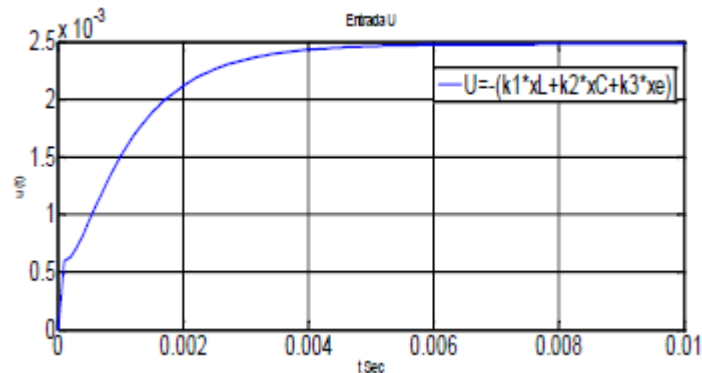


Figura 12. Sinal de controle.

A Figura 13 mostra o esquemático do conversor boost e do circuito de controle. Adicionaram-se, ao conversor, mecanismos de perturbação na tensão de entrada e na resistência, na saída do conversor. Na tensão de entrada adicionou-se um gerador de impulso, acionado 0.8s depois que o sistema foi alimentado. A representação de uma carga não linear do ponto de vista do circuito de controle pode ser interpretada como operação com plena carga, durante parte do semiciclo da tensão, e com o dobro da carga plena, durante outra parte do semiciclo da tensão, do conversor. O conversor foi projetado para alimentar uma carga de 268.8Ω, no entanto, para tornar a carga não linear, associaram-se em paralelos dois resistores com o dobro desta resistência, onde através de um interruptor pode-se variar a carga na saída do conversor que assume o valor de 540Ω ou 270Ω.

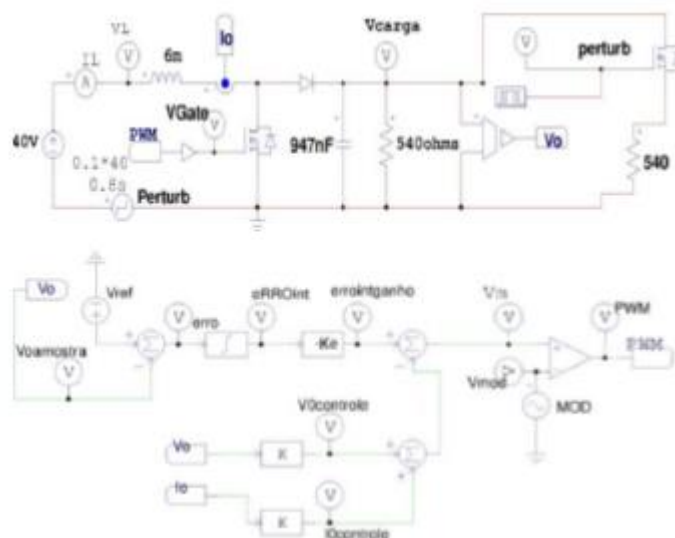


Figura 13. Modelo do conversor em malha fechada.

A Figura 14 mostra a tensão na carga sem perturbações. Pode-se notar que a tensão atinge a referência de 127v em curto tempo de subida. Devese atentar que apesar da tensão na saída do conversor ser contínua, há uma ondulação que é uma componente alternada em torno do valor médio. A Figura 15 mostra, com detalhes, o sinal da Figura 14.

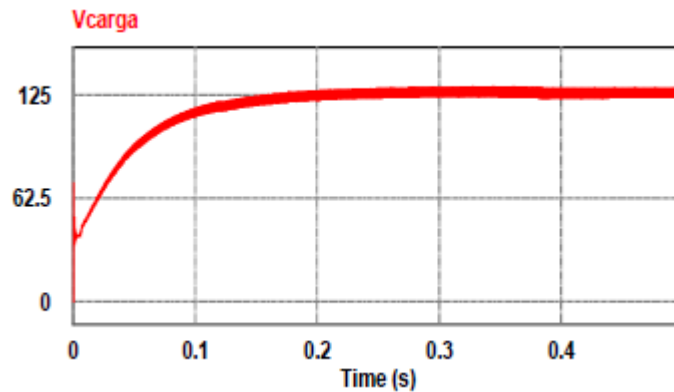


Figura 14. Tensão de saída do conversor com carga linear.

Pode-se comprovar que o valor médio da tensão, na Figura 15, é 127v. Além disso a ondulação assume valores aceitáveis em relação ao valor calculado no dimensionamento dos elementos armazenadores de energia.

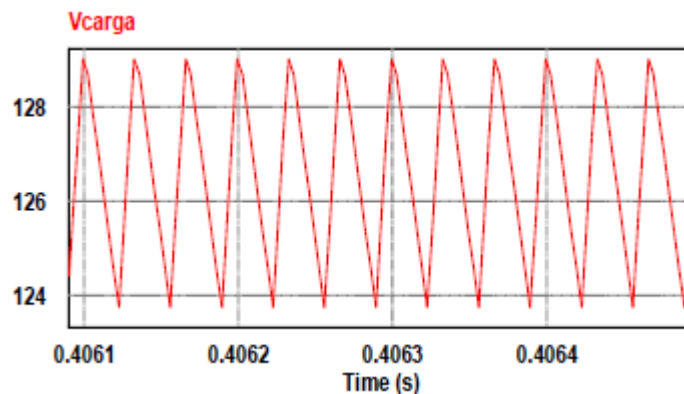


Figura 15. Ondulação de pico à pico da tensão na carga.

Na Figura 16 mostra-se o sinal PWM aplicado no gate do interruptor. Pode-se observar que o sinal PWM está na frequência de 30KHz, frequência utilizada no chaveamento.

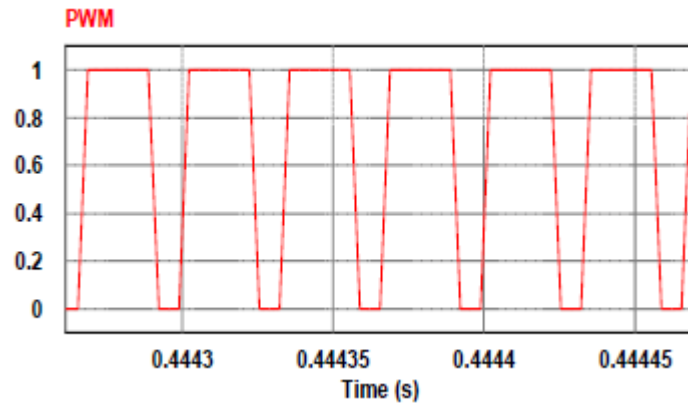


Figura 16. Sinal PWM aplicado ao interruptor.

A Figura 17 mostra a tensão de saída do conversor com variações instantâneas na carga, ou seja, carga não linear. Uma visão detalhada é mostrada na Figura 18.

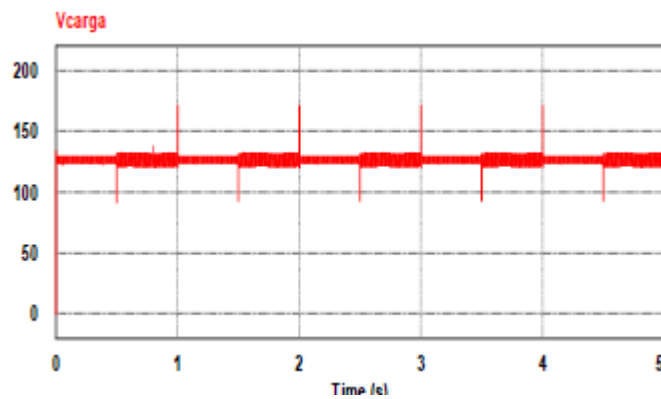


Figura 17. Tensão de saída do conversor com carga não linear.

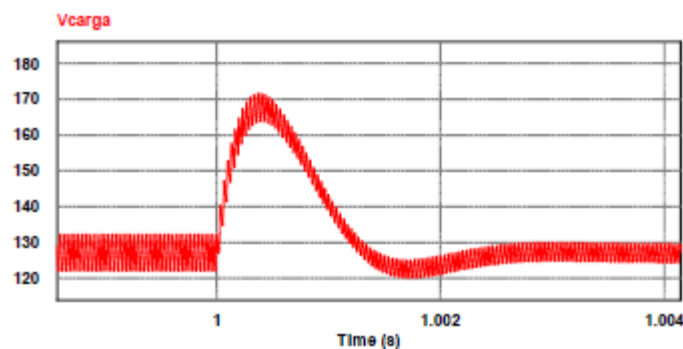


Figura 18. Pico de tensão gerado pela variação da carga na saída do conversor.

A partir da Figura 18, pode-se notar que a tensão leva 2.5ms para estabilizar e retornar a referência de 127v. Este curto intervalo de tempo torna a variação de quase 45v, em relação a referência, quase imperceptível, na prática. Na Figura 19 mostra-se a resposta do sistema para variação de 10% da

tensão de entrada do conversor. O sistema estabilizou em torno de 3ms, intervalo de tempo satisfatório.

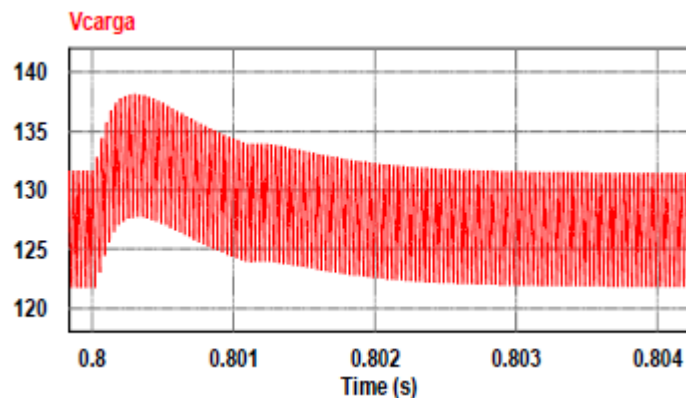


Figura 19. Perturbação na tensão de entrada do conversor.

6. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados comprovam que o controlador LQR com ação integral é capaz de solucionar o problema do controle de conversores com carga não linear. Os resultados da simulação justificam a escolha deste método de controle por realimentação de estados, onde se alcançou o rastreamento com erro nulo e ótima rejeição à distúrbio aplicado ao conversor Boost, com carga variável. Portanto, O circuito de controle é robusto para evitar instabilidades e rápido o suficiente para atuar como estabilizador de tensão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Batschauer, A. L.(2012). Apostila da Disciplina de Controle de Conversores Estáticos.

Bryson, Arthur E; HO, YU-CHI. "Applied optimal control: optimization, estimation and control",. Waltham, Mass.: Ginn, 1969.

Dupont, F. et al. Multiple controllers for boost converters under large load range: A ga and fuuzy logic based approach. In: IEEE International Conference on Industrial Tecnology – ICIT 2010.

Dupont, F. H. et al. Comparasion of digital LQR techniques for DC-DC boost converters with large load range. In: Proceedings of the IEEE International Symposium on Circuits and Sys- tems – ISCAS 2011.

IEEE Transactions on Industrial Electronics, v. 56, n. 7, p. 2548-2558, 2009.

Johnson, M.J, Grimbale, M. A." Recent trends in line- ar optimal quadratic multivariable control system design". IEE Proceedings. Vol. 134, Part D-Control Theory and Applications, no.1, pp. 53-71. Jan. 1987.

Kwakernaak, H. and Sivan, R. Linear optimal control systems. NY, John Wiley, 1972.

NAIDU, D. S. Optimal control systems. Boca Raton: CRC Press, 2003.

OLALLA, C., et al. Robust LQR control for PWM converters: an LMI approach.

SKOGESTAD, S.; POSTLETHWAITE. Multivariable Feedback Control: Analysis end Design. England: John Willey and Sons, 2005, second edition.

WONGSATHAN, C.; SIRIMA, C. Application of GA to design LQR controller for an Inverted Pendulum System. In: IEEE International Con- ference on Robotics and Biomimetics, 2008. ROBIO 2008. p. 951-954, 2009.

Capítulo 3



10.37423/230307342

INGRESSO, EVASÃO E CONCLUSÃO ANÁLISE DAS TURMAS DE ENGENHARIA MECÂNICA DA UFPA ENTRE 2011 E 2019

Rodrigo da Silva Magalhães Dias

Universidade Federal do Pará

Léo César de Oliveira Pereira

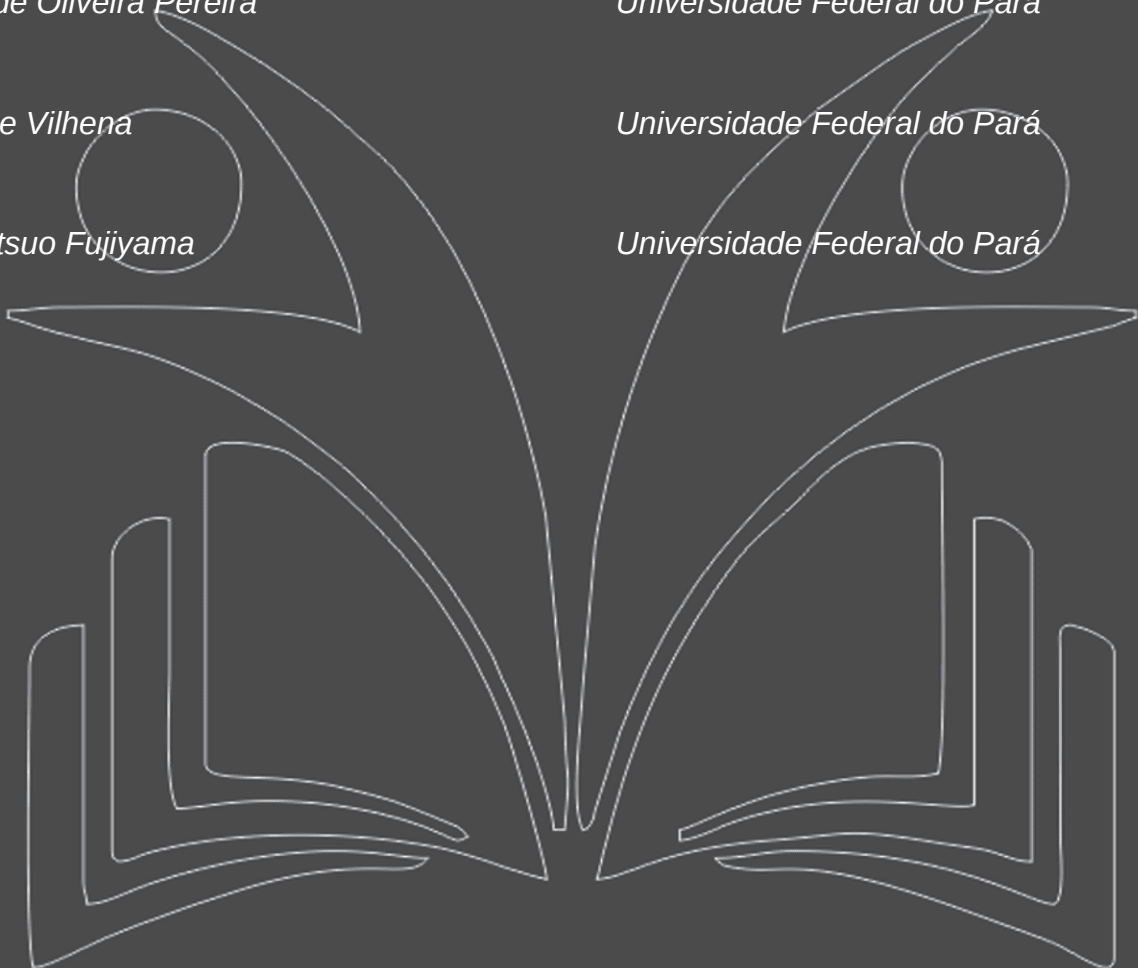
Universidade Federal do Pará

Edil Silva De Vilhena

Universidade Federal do Pará

Roberto Tetsuo Fujiyama

Universidade Federal do Pará



Resumo: *A evasão de estudantes de ensino superior é um fenômeno recorrente que afeta as universidades públicas e particulares, não só no âmbito nacional, como internacional. Esta realidade é observada principalmente em cursos de engenharia, aonde muita das causas vão desde a dificuldade de aprendizado, carência de base educacional, até mesmo fatores econômicos, sociais e pessoais. Desta feita, este trabalho busca realizar um estudo referente à taxa de conclusão, bem como de evasão e retenção de alunos de graduação em Engenharia Mecânica que ingressaram na Universidade Federal do Pará (UFPA) durante os anos de 2011 a 2019. Para isso, foi feita uma análise quantitativa de alunos, dentro do período estudado, com base em dados dos fornecidos pelo Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA), fazendo, então, uma comparação entre o número de alunos que concluíram e os que evadiram do curso, relacionando com a maneira de ingresso dos mesmos.*

Palavras-chave: *Engenharia mecânica. UFPA. Evasão. Ensino superior.*

1 INTRODUÇÃO

A evasão estudantil no ensino superior é um problema internacional que afeta o resultado dos sistemas educacionais. As perdas de estudantes que iniciam, mas não terminam seus cursos são desperdícios sociais, acadêmicos e econômicos. No setor público, são recursos públicos investidos sem o devido retorno. No setor privado, é uma importante perda de receitas. Em ambos os casos, a evasão é uma fonte de ociosidade de professores, funcionários, equipamentos e espaço físico (SILVA FILHO, 2007). De acordo com Adachi (2009), quando os alunos ingressam nos cursos representam ativos, mas ao desistir ou optar pela mudança para outro curso ou instituição, representam perda de investimentos.

A análise sobre o fenômeno da evasão, conforme entendemos, representa para as universidades um elemento balizador para a gestão de seus cursos e, em particular, para subsidiar estratégias para a melhoria de desempenho de seus estudantes. Obter informações acerca da evasão dos estudantes dos cursos de graduação, portanto, pode contribuir significativamente para fornecer subsídios que auxiliem a definição de estratégias que garantam a permanência dos estudantes (BARBOZA, 2018).

De acordo com a Confederação Nacional da Indústria (CNI) (2015), o número de alunos matriculados aumentou significativamente nos de 2009 a 2012, porém, a evasão de alunos ainda é muito presente nas universidades. A elevada taxa de evasão observada nos cursos de Engenharia – bem maior do que a dos cursos de Direito e de Medicina, por exemplo – representa sério agravante desse processo. Deficiências na educação básica dos alunos, aliadas à falta de motivação, provocada por currículos extremamente teóricos, figuram como alguns dos fatores responsáveis pelo problema.

Estudos realizados por Silva (2013), evasão do ensino superior brasileiro ainda é um fenômeno pouco explorado pela literatura acadêmica. A falta de trabalhos, e de certa forma preocupações das próprias IES (Instituto de Ensino Superior) brasileiras, tornam o estudo e a busca das causas e desenvolvimentos de programas que combatam essa evasão prejudicada. Isto porque há uma dificuldade no monitoramento dos alunos evadidos.

Neste sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar as taxas de evasão e retenção dos alunos que ingressaram na Universidade Federal do Pará (UFPA) nos anos de 2011 a 2019 através dados obtidos pelo Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA) da própria da instituição. O cálculo básico desse estudo foi realizado pela a comparação entre o número de alunos que estavam matriculados em um determinado ano, subtraídos os concluintes.

2 METODOLOGIA

Os dados foram informados pela diretoria da Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM) da Universidade Federal do Pará, pelos professores Manoel Fernandes Martins Nogueira e Carlos Alberto Mendes da Mota, diretor e vice-diretor, respectivamente. O acesso ao SIGAA pela diretoria da FEM permitiu coletar os dados referentes aos anos de 2011 a 2019 com a situação dos alunos de graduação do curso de engenharia mecânica.

O SIGAA classifica os alunos de graduação em:

- **Ativo:** estado que informa que o aluno realizou matrícula curricular;
- **Ativo-formando:** estado que informa que o aluno já concluiu todas as atividades complementares e se encontra devidamente matriculado, no período corrente, nas disciplinas obrigatórias e/ou optativas faltantes para concluir o curso;
- **Ativo-graduando:** estado que informa que o aluno já concluiu e foi aprovado em todas as disciplinas obrigatórias, optativas e atividades complementares. O aluno só se torna graduando quando o período é encerrado;
- **Concluído:** estado em que o aluno já colou grau, teve seus registros de ENADE ingressante/concluente atualizados, teve todos os componentes acadêmicos integralizados e se encontra apto para solicitar o diploma de conclusão de curso.

Os dados foram trabalhados através do Software Microsoft Office Excel em planilhas e a elaboração dos gráficos foi realizada através do OriginLab 9.0. Avaliou-se um total de 821 alunos. Os resultados foram analisados quantitativamente e qualitativamente para determinar as principais formas de ingresso e a quantidade de evasão do curso.

3 RESULTADOS

A Tabela 1 relaciona o número total de alunos classificados como concluintes, ativos, cancelados e trancados durante o período de 2011 a 2019, de acordo com o SIGAA.

Tabela 1 - Status dos alunos de graduação de acordo com o ano de ingresso.

Ano	Concluiu	Ativo	Ativo - Graduando	Ativo - Formando	Ativo - Convênio	Cancelado	Trancado	Total
2011	46	6	1	1	0	39	0	93
2012	39	24	0	0	0	30	0	93
2013	24	9	13	19	0	17	0	82
2014	5	16	11	22	0	22	1	77
2015	0	28	0	41	0	17	1	87
2016	0	81	0	0	0	11	1	93
2017	0	98	0	0	0	5	2	105
2018	0	81	0	0	1	6	2	90
2019	0	99	0	0	0	2	0	101

Fonte: Autores (2019).

Observa-se pela Tabela 1 que o ano de 2011 foi o que apresentou maior taxa de evasão do curso de engenharia mecânica em comparação com os anos posteriores, pois, dos 93 alunos que ingressaram no curso 39 cancelaram a matrícula, uma porcentagem de aproximadamente 41,94%.

A taxa de conclusão deste ano, porém, um pouco acima da de evasão, com 46 alunos com o status de concluído, cerca de 49,46%. Não obstante, há um número considerável de alunos ainda retidos no curso, sendo 6,45% com status de ativo, ou seja, com disciplinas obrigatórias pendentes. Apenas 2,15% correspondem aos ativos-graduando e ativos-formandos, ou seja, apenas 2 alunos em cada categoria.

A taxa de conclusão no ano de 2012 foi menor quando comparada ao ano anterior, sendo que 39 alunos concluíram o curso, cerca de 41,94% do total de alunos.

Somando-se os alunos de 2011 e 2012, que correspondem a turmas que já deveriam estar concluídas, estima-se que de um total de 186 ingressantes, apenas 85, ou seja, 45,69% dos alunos concluíram o curso.

3.1 ANÁLISE POR GÊNERO

A Tabela 2 mostra uma comparação entre o número de alunos concluintes e dos que evadiram de acordo com o sexo.

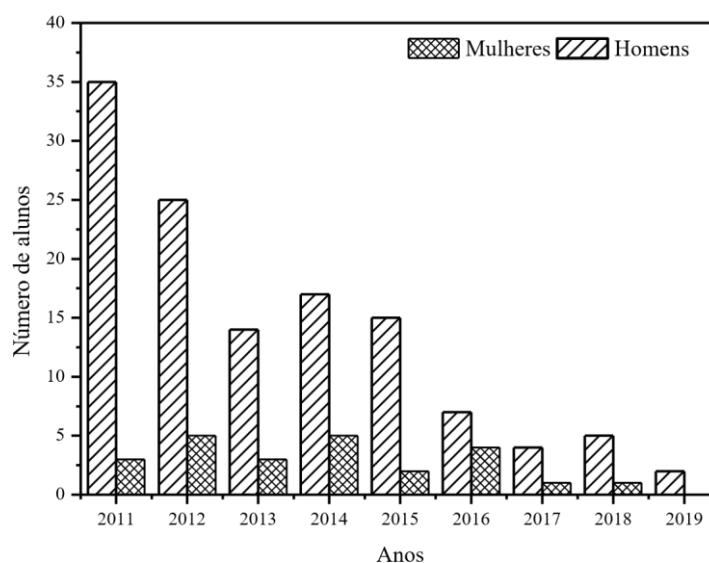
Tabela 2 - Número de alunos que concluíram e evadiram de acordo com o ano de entrada.

<u>Ano de ingresso</u>	<u>Total de</u>		<u>Homens</u>			<u>Mulheres</u>		
	<u>alunos (as)</u>		<u>Conclusão</u>	<u>Evasão</u>	<u>Total</u>	<u>Conclusão</u>	<u>Evasão</u>	<u>Total</u>
2011	93	38	35	73	8	3	11	
2012	93	33	25	58	6	5	11	
2013	82	20	14	34	4	3	7	
2014	77	4	17	21	1	5	6	
2015	87	0	15	15	0	2	2	
2016	93	0	7	7	0	4	4	
2017	105	0	4	4	0	1	1	
2018	90	0	5	5	0	1	1	
2019	101	0	2	2	0	0	0	

Fonte: Autores (2019).

Já a Figura 1 aponta o número de aluno que cancelaram o curso no período de 2011 a 2019.

Observa-se através da análise da Tabela 2 que o número de alunos masculinos, em sua totalidade, ao longo dos anos é bastante superior comparado ao número de alunas do gênero feminino. Muitas das razões deste fato são expostas por Mendonça (2014), a qual cita que a grande falta de mulheres nos cursos, principalmente engenharia estão relacionados ao pensamento de que a área de exatas está relacionada ao homem, pela facilidade de assimilação a até as razões relacionadas à incompatibilidade, afastamento e dificuldades de adaptações das mulheres em culturas profissionais masculinas.

Figura 1 - Alunos que cancelaram o curso de Engenharia Mecânica da UFPA.

Fonte: Autores (2019).

Pode-se observar conforme a Figura 1 que de 2011 a 2019 existe uma diminuição do número de cancelamento do curso de engenharia mecânica da UFPA para alunos do sexo masculino, isso se deve um tanto por conta do período de 2013 em diante, os alunos de graduação ainda não terem protelado o prazo máximo do curso na instituição, que segundo o estatuto interno não pode ultrapassar 7,5 (sete e meio) anos conforme o Projeto pedagógico do curso de Engenharia Mecânica da UFPA, ou seja, uma possibilidade para existir essa diminuição pode ser por não poder existir o jubileamento para os anos de 2013 em diante.

O que se pode afirmar é que analisando os ingressantes dos anos de 2011 e 2012, que já deveriam ter concluído o curso, verifica-se um aumento no número de evasão de mulheres que passou de 25,00% para 41,67%, já para alunos do sexo masculino houve uma diminuição de 43,75% para 30,86%.

Seguindo estas observações, podem-se elencar as possíveis causas para a evasão de alunos das universidades, as quais estão relacionadas a diversos fatores, podendo ser de ordem acadêmica, social, econômica ou pessoal. Gomes et. al. (2010) ainda reforça que a evasão possa ocorrer por motivos variados: dificuldades financeiras, falta de vocação, descontentamento acerca do método didático-pedagógico da instituição, motivos pessoais, como doença grave ou morte, transferência de domicílio, etc.

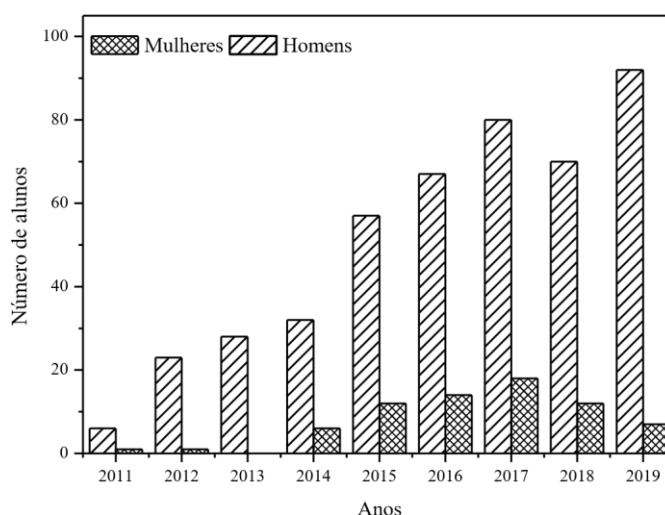
Segundo Silva Filho (2007), as expectativas do aluno em relação à sua formação e a própria integração do estudante com a instituição constituem, na maioria das vezes, os principais fatores que acabam por desestimular o estudante a priorizar o investimento de tempo ou financeiro, para conclusão do curso.

Gomes et. al. (2010) também comenta que a crescente evasão está relacionada, ademais, ao aumento do número de equívocos que os ingressantes têm no momento que encolhem os cursos, uma vez que muitas vezes tem-se visão deturpada do mercado de trabalho e da profissão e ao entrar na Universidade ficam decepcionados e desmotivados, levando a evasão prematura.

Kieckow (2018) ressalta que a evasão pode estar também atrelada à dificuldade de aprendizado, a falta de motivação, falta de didática por parte do professor e aulas mais criativas e dinâmicas. Além do que a falta de motivação pode ser decorrente da falta de didática do professor e a falta de criatividade e dinâmica nas aulas.

A Figura 2 mostra o comportamento ao longo dos anos dos alunos ativos do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará.

Figura 2 - Alunos ativos do curso de Engenharia Mecânica da UFPA.



Fonte: Autores (2019).

A Figura 2 acompanha o número de alunos ativos ao longo dos anos de 2011 a 2019, que aponta claramente o aumento dos alunos ativos do sexo masculino e um aumento entre os anos de 2014 e 2017 de alunas mulheres, sofrendo uma gradual queda após este período.

De acordo com o projeto pedagógico do curso de engenharia mecânica da Universidade Federal do Pará (2010), o tempo de duração da graduação é de 5 anos, porém, pode-se estender este prazo em até no máximo 2,5 anos, portanto, o aluno só poderá ter vínculo com o curso em no máximo 7,5 anos. Caso contrário, o mesmo perderá o vínculo com a instituição.

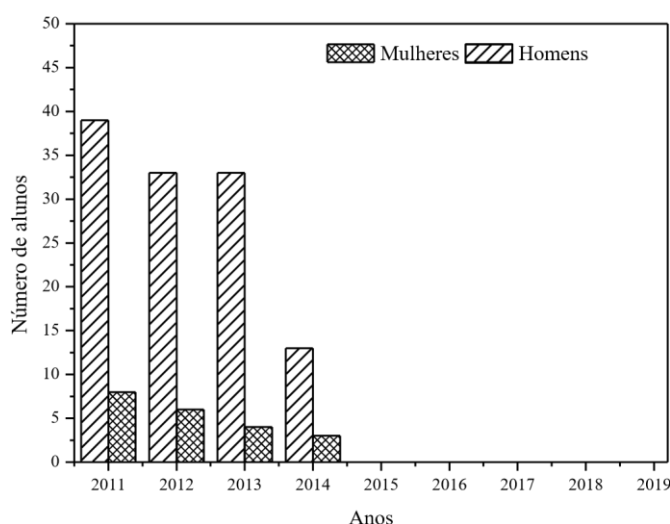
Seguindo estes critérios observou-se, diante dos dados da Figura 2, que ainda existem alunos ativos dos anos de 2011 e 2012, em desconformidade com o projeto pedagógico do curso de engenharia

mecânica da Universidade Federal do Pará (2010). O que é possível segundo o Projeto através de medidas judiciais e administrativas em casos especiais.

Tomando como base dados do Ministério da Educação e Cultura do ano de 2016, o custo anual de permanência do aluno de graduação da UFPA era de R\$ 29.022,00 sofrendo uma variação pequena desde 2009 quando chegava a R\$ 29.364,00 ao ano. Neste contexto, mantendo os alunos ativos que não concluíram o curso dentro do tempo comum de 5 anos, segundo a Figura 2, a Universidade Federal do Pará chega a ter um gasto extra de até R\$ 2.815.134,00 até o atual momento.

A Figura 3 ilustra o comportamento ao longo dos anos da conclusão, por gênero, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Pará.

Figura 3 - Alunos que concluíram o curso de Engenharia Mecânica da UFPA



Fonte: Autores (2019).

Apesar de o número de alunos do sexo masculino ser muito maior em relação ao número de mulheres ingressantes na engenharia mecânica, em torno de 15% de mulheres e 85% de homens, existe uma inversão quando se trata de conclusão de curso, onde 31,88% dos homens e 41,30% das mulheres ingressantes concluem o curso dentro do prazo de 5 anos.

Também se observa, tomando como base o ano de 2014, que de uma turma de 77 alunos ingressantes, apenas 16, ou seja, 20,77% se formaram dentro do período de 5 anos.

3.2 ANÁLISE DA MANEIRA DE INGRESSO DOS ALUNOS

A Tabela 3 indica a quantidade de alunos pela maneira de ingresso na Engenharia Mecânica da UFPA em relação aos períodos analisados. A Figura 4 mostra esta quantidade em percentual.

Tabela 3 - Número de alunos de acordo com o modo de ingresso no curso de Engenharia Mecânica da UFPA.

Forma de ingresso			Ano						Processo seletivo					
			2011	2012	2013	2014	2015	2016				2017	2018	2019
			80	68	79	69	60	64	63	63	81			
SISU						0	0	0	1	15	16	16	11	0
Mobilidade externa						5	9	1	1	5	5	15	1	9
Mobilidade interna						4	2	0	1	1	4	5	8	0
PSE Quilombola						0	0	0	2	4	4	4	0	0
PSE Indígena						0	0	0	0	1	0	1	2	0
Outros						4	1	2	2	1	0	1	0	11

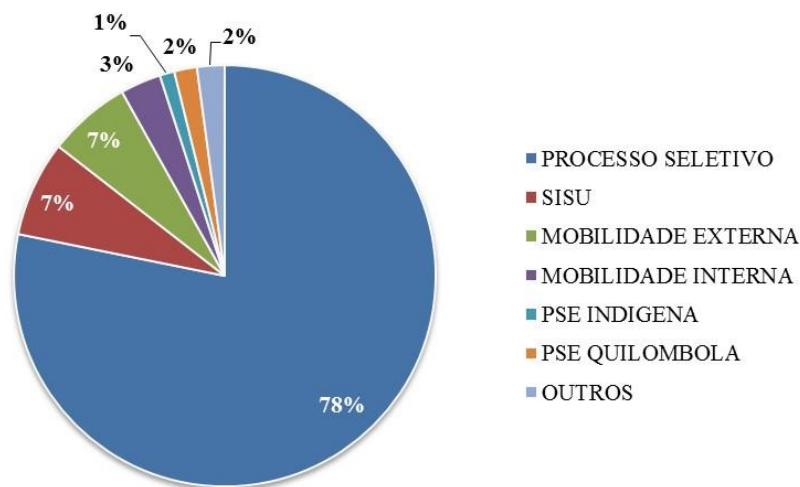
Fonte: Autores, (2019).

O meio de ingresso de alunos na Universidade Federal do Pará se dá de variados modos, o mais comum é pelo “Processo Seletivo”, ou vestibular, no qual os estudantes precisam realizar uma prova como critério de entrada na instituição. Neste caso o número de alunos que entraram ao longo dos anos estudados foi de 78,18% do total.

Observa-se também que 7,36% dos alunos ingressaram através do SISU (Sistema de Seleção Unificada). Segundo a Tabela 3, estas vagas começaram a serem preenchidas a partir do ano de 2014 e foi crescente nos anos seguintes. No ano de 2015, dos 15 alunos provenientes do SISU, 26,67% evadiram do curso, enquanto que 73,33% continuam a cursar. Nos anos de 2016 e 2017 a taxa de evasão diminuiu, sendo elas de 6,67% e 18,75%. Entretanto, em 2018 a taxa aumentou significativamente para 27,27% a taxa de evasão.

De acordo Li et al. (2017), estatísticas preliminares do MEC sobre as matrículas realizadas na primeira edição do SISU apontam para uma taxa de mobilidade de 25% (porcentagem de alunos que optaram por estudar fora de seu estado de origem). A autora ainda reforça que a probabilidade do aluno ser migrante de outro estado em 2,9 em pontos percentuais. A mesma conclui que evasão de tais alunos pode estar correlacionada com o próprio comportamento migratório induzido pela política, quando problemas financeiros ou psicológicos atrapalham o aluno migrante a finalizar os seus estudos longe de casa.

Figura 4 - Distribuição de maneiras de ingressos no curso de Engenharia Mecânica UFPA entre 2011 e 2019.



Fonte: Autores, (2019).

Com a Lei nº 12.711 sancionada em 29 de agosto de 2012, a Universidade Federal do Pará (UFPA), passou a destinar duas vagas extras por curso para indígenas e quilombolas. Essas reservas de vagas foram validadas pelo Supremo Tribunal Federal (STF), garantindo o acesso às instituições de ensino público superior em todo o território nacional.

Pode-se notar pela Figura 4 que o ingresso de indígenas e quilombolas ainda é muito pequeno em relação ao total das vagas ofertadas, incluindo as vagas destinadas a mobilidade acadêmica externa e interna. Segundo Campos (2016), que realizou um estudo relacionado ao ingresso de estudantes quilombolas na UFPA, esse resultado muitas vezes é decorrência da falta de divulgação da universidade sobre o edital, a seleção e de informações do vestibular que não chegam às comunidades, pois existe certa precariedade de acesso à internet na maioria dos territórios quilombolas e indígenas.

Conclui-se que o baixo número de ingressantes quilombolas e indígenas dificulta um ambiente de integração na universidade, pois segundo Campos (2016) relatos de quilombolas demonstram que além da distância da comunidade, durante o curso superior, vieram as angústias, medos e estranhamento com o novo ambiente.

É importante observar que os alunos ingressantes dos processos seletivos especiais (PSE) quilombolas e indígenas configuram cerca de 1,75% e 0,5% do total respectivamente, entretanto a taxa de evasão para ambos é da ordem de 27,78%.

Segundo Gloria (2017), alunos indígenas que acessam a universidade por meio da política de cotas, não disponibilizam de meios que garantam de maneira satisfatória a permanência nessa instituição de ensino. São inevitáveis as evasões, pois os entres não são apenas de ordem econômica, uma vez que envolvem preconceitos, estigmas, discriminações, estereótipos, isto é, diversas formas de exclusão desses discentes no interior das matrizes curriculares dos cursos, das metodologias e didáticas de ensino e no relacionamento com alunos não indígenas e professores.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como se vê, no curso de Engenharia Mecânica, da Universidade Federal do Pará, o ano de 2011 foi o que apresentou maior taxa de evasão em comparação aos anos posteriores, com uma porcentagem de aproximadamente 41,94% de um total de 93 alunos ingressantes. Em contrapartida, a taxa de conclusão deste ano foi de cerca de 49,46%.

Apesar de o número de alunos do sexo masculino ser muito maior em relação ao número de mulheres ingressantes, a taxa de das mulheres concluintes é cerca de 22% maior em relação aos homens.

Além disso, ainda que os modos de ingressos na universidade sejam os mais diversos, abarcando não só o processo seletivo tradicional (o vestibular), com cotistas e não cotistas, mas também a mobilidade interna, externa e mais recentemente os processos seletivos especiais (para índios e quilombolas), bem como o SISU, o ingresso em si não garante a continuidade dos estudos, uma vez que para a permanência dos alunos é preciso envolver a noção de pertencimento, a vivência acadêmica, a conclusão, o desenvolvimento sequencial e bem sucedido dos semestres/disciplinas, de modo que haja a conclusão do curso no tempo mínimo e com qualidade na formação.

Portanto, considerando os fatores que contribuem ou acabam levando os alunos a evadirem do curso, como metodologia dos professores, dificuldades dos alunos com as disciplinas, dificuldades socioeconômicas, problemas de cunho pessoal, falta de orientação vocacional, dificuldades de adaptação ao meio acadêmico, desprestígio da profissão, é crescente a necessidade de ampliação de ações, políticas e programas que favoreçam a permanência não somente dos ingressantes mas também dos ativos, para que possam concluir a graduação no tempo mínimo de integralização do curso.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem também ao CNPq e Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação da Universidade Federal do Pará.

REFERÊNCIAS

ADACHI, Ana Amélia Chaves Teixeira. Evasão e Evadidos nos Cursos de Graduação da Universidade Federal de Minas Gerais. 2009. 214f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Educação, Belo Horizonte, 2009.

CAMPOS, Laís Rodrigues. Do Quilombo à universidade: trajetórias, relatos, representações e desafios de estudantes quilombolas da Universidade Federal do Pará-Campus Belém quanto à permanência. 2016. 133f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Ciências da Educação, Belém, 2016.

GLORIA, Luani L., BARBOSA, Luana S., FERREIRA, Maíra F., SANHES, Maria S. R. A., OLIVEIRA, Winnie Lo Rohoma C. L. 2017. INDÍGENAS NA UNIVERSIDADE: Uma reflexão a partir do ingresso na universidade federal do Pará-UFPA. In: VIII Jornada Internacional de Políticas Públicas. Anais, UFMA, 2017

GOMES, M. J.; MONTEIRO, M.; DAMASCENO, A. M.; ALMEIDA, T. J. S.; DE CARVALHO, R. B.. Evasão Acadêmica no Ensino Superior: Estudo na Área da Saúde. Revista Brasileira de Pesquisa em Saúde, Espírito Santo, v. 12, n. 1, pp. 6-13, 2010.

KIECKOW, F.; FREITAS, D. B.; LIENSENFELD, J. O ensino e aprendizagem na engenharia: realidade e perspectivas. Revista Brazilian Applied Science Review, Curitiba, v. 2, n. 1, pp. 347-356, jan./mar. 2018.

LI D.L.; CHAGAS A. L.S. Efeitos do Sisu sobre a migração e a evasão estudantil, 2017.

Disponivelem:http://www.acquaviva.com.br/ENABER17/ProgramacaoDefinitivaENABER_site.pdf. Acesso em: 01 de maio de 2019.

MENDONÇA, Luana K.; NASCIMENTO, Tatiana R. L.; DA SILVA, Ricardo M. Mulheres na Engenharia: Desafios encontrados desde a Universidade até o chão de fábrica na Engenharia de Produção na Paraíba. In: 18º Redor. Anais. UFRP, Recife, PE, 2014.

SILVA FILHO, R. L. L.; MOTEJUNAS, P. R.; HIPÓLITO, O.; LOBO, M. B. C. M. A Evasão no Ensino Superior Brasileiro. Instituto Lobo para o Desenvolvimento da Educação, da Ciência e da Tecnologia. Cadernos de Pesquisa, v.37, n. 132, p.641-659, set./dez. 2007.

Capítulo 4



10.37423/230307357

FERRAMENTA INFORMATIZADA PARA DETECÇÃO DE ANORMALIDADES NO CONSUMO MENSAL DE ÁGUA: UMA APLICAÇÃO PRÁTICA

Luiz Carlos Dias Junior

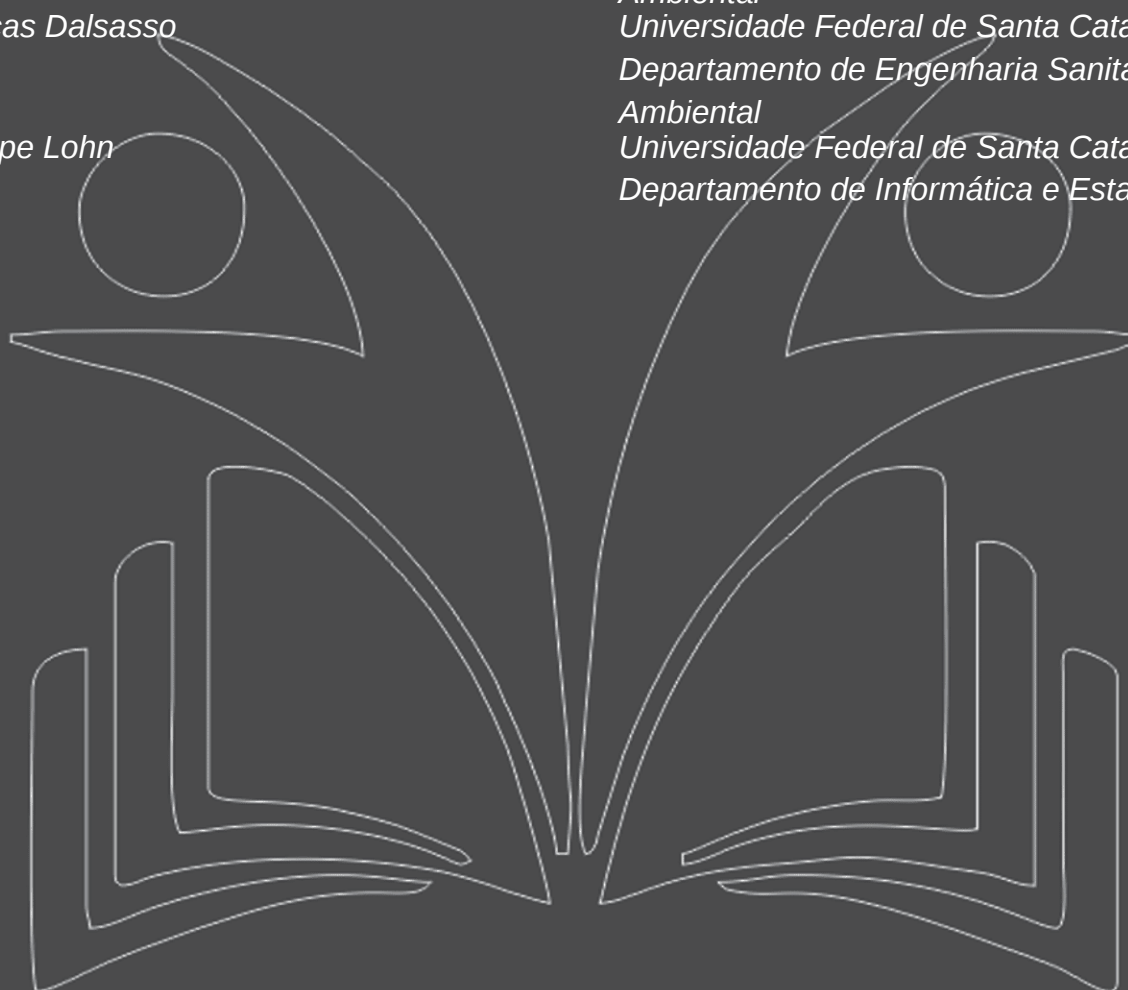
Ramon Lucas Dalsasso

Diorges Filipe Lohn

*Universidade Federal de Santa Catarina -
Departamento de Engenharia Sanitária e
Ambiental*

*Universidade Federal de Santa Catarina -
Departamento de Engenharia Sanitária e
Ambiental*

*Universidade Federal de Santa Catarina -
Departamento de Informática e Estatística*



Resumo: Neste trabalho foi desenvolvida uma ferramenta informatizada para detecção de anormalidades no consumo de água. Os resultados de análise de suspeitos foram gerados a partir do banco de dados de consumo da concessionária de saneamento de Joinville/SC, que também serviu de base para definir padrões de comportamento dos consumidores residenciais. Para investigar irregularidades, foi adotado um critério de seleção para encontrar ligações suspeitas, que se baseou na distância dos valores em relação a mediana dos consumos das ligações fiscalizadas irregulares. Para testar o critério, foi realizado um teste de campo, feito pela fiscalização da companhia e, também, um teste retroativo, feito a partir do histórico da fiscalização. O resultado geral encontrado pela análise retroativa foi de aproximadamente 6,90% de irregularidades efetivas (de 3,63% a 13,12% conforme setor). O resultado foi superior ao teste de campo feito em ligações aleatórias apontadas pela ferramenta (1,5%) e superior ao resultado da companhia que foi de 6,35% de ligações irregulares por fiscalização.

Palavras-chave: Perdas aparentes; irregularidades em ligações; padrões de comportamento de consumidores de água.

INTRODUÇÃO

Nos sistemas de abastecimento de água ocorrem perdas de faturamento, classificadas como perdas aparentes decorrentes, basicamente, de falhas cadastrais, erros de medição e irregularidades no consumo de água. De acordo com os dados do Serviço Nacional de Informação em Saneamento (BRASIL, 2019), as perdas de água, em relação à distribuição nos sistemas de abastecimento do Brasil, variam entre 34,4% na região Sudeste até 55,5% na região Norte, evidenciando a grande disparidade entre as regiões brasileiras em relação a esse item. Segundo Gieseemann and Ping (2014), cidades como Melbourne/Austrália e Copenhague/Dinamarca têm índice de perdas gerais, respectivamente, de 3% e 4%, enquanto a cidade de São Paulo/SP possui 38%, mostrando a grande disparidade que pode haver entre os municípios ou companhias ao redor do mundo.

No domínio da gestão comercial, enquadram-se como causas de perdas aparentes: demora no cadastramento de novas ligações, reativação de ligações sem o conhecimento da companhia, ligações clandestinas e fraudes, em todos esses casos, a água é consumida, porém não é faturada (TSUTIYA, 2006). Para detectar anormalidades, que poderão caracterizar-se ou não como irregularidades por parte dos clientes cadastrados, pode-se fazer estudos de consumo de água através do histórico comercial e dos consumos mensais atualizados. É essencial buscar e estabelecer critérios que permitam detectar, essencialmente, dois tipos de irregularidades: potenciais fraudes e inconsistência com a informação do cadastro.

Como nem todas as concessionárias de saneamento possuem um sistema informatizado para avaliação de cadastro, é notório a necessidade de trazer tecnologia a esses sistemas para que eles sejam mais eficientes e, desta forma, diminuir as perdas de faturamento sobrando mais recursos para melhorar a qualidade do produto final entregue aos consumidores. De acordo com Tardelli Filho (2015), a modernização do sistema comercial *“representa a implantação e modernização permanente dos sistemas informatizados que processam e consolidam os dados das atividades ligadas à apuração de consumos, compatibilização dos ciclos de leitura com os setores de abastecimento, faturamento, consistências etc.”*, sendo essa uma medida necessária ao combate das perdas aparentes, trazendo benefícios diretos como, por exemplo, um conhecimento mais preciso do sistema de abastecimento como um todo: redes, ligações, categorias, entre outros aspectos.

Assim como propõe este trabalho, foi realizado por Humaid (2012) uma metodologia baseada em análise de dados de consumo de água. Essa, porém, utiliza a técnica de *data mining* para depois fazer testes de campo e medir a efetividade da fiscalização. Isso demonstra que para diminuir o problema

de perdas aparentes, especificamente em fraudes, podem ser realizada análises do cadastro de consumidores como um dos caminhos, a fim de orientar a fiscalização das companhias e obter melhores resultados.

METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados históricos de consumo mensal de usuários de água e de fiscalização de campo (ÁGUAS DE JOINVILLE, 2016), pertencentes ao Sistema de Abastecimento de Água da cidade de Joinville/SC. As informações que compõem o banco de dados de consumo são: número de ligações, número de economias, histórico de dados de consumo (mensal), dados do hidrômetro e localização geográfica. Foram utilizados também, dos anos de 2013 a 2015, os dados do cadastro da fiscalização da companhia, que possuem informações sobre: consumo, ligação de água, hidrômetro, cavalete, caixa padrão, irregularidades e também observações de campo.

Através da análise do banco de dados de consumo mensal, foi realizada uma análise exploratória, onde foi preparado o banco de dados para ser feita a avaliação de variáveis estatísticas e do comportamento de dispersão desses valores. O propósito dessa etapa foi de excluir inconsistências nos dados, avaliar padrões de comportamento dos usuários e definir um critério para caracterizar ligações fora de um padrão de consumo geral.

A fim de determinar o critério de classificação de uma ligação como suspeita, utilizou-se o banco de dados das ligações efetivamente irregulares, registrando todos os seus consumos mensais, excluindo as matrículas as quais não poderiam ser detectadas através de diferença de consumo, ou seja, não houve variação média, dos 4 (quatro) meses, antes e depois da detecção da irregularidade. Posteriormente, utilizou-se esses valores para aplicar a medida estatística de Diagrama de Caixa (Box-Plot) onde, para esse conceito, foi utilizado como medida central a mediana e como composição da “caixa” e dos bigodes “*whiskers*”, medidas de percentis. A partir do valor central da distribuição dos dados em uma caixa, adotou-se para os limites da caixa 50% dos dados de consumo, já para os limites extras (*whiskers*), foi adotado 80% dos consumos, ou seja, 10% estão, em valor, no limite abaixo do bigode, e outros 10% no limite acima. Destaca-se que só foram utilizadas ligações residenciais de 1 (uma) economia, para deixar a amostra mais homogênea possível.

Para avaliar a acertabilidade do critério adotado, foram estruturados dois testes. O primeiro teste foi realizado com a ajuda da fiscalização de campo da própria concessionária de saneamento e o segundo através de uma análise retroativa do banco de dados da fiscalização.

No método de fiscalização de campo, foi efetuada uma seleção de ligações que passaram pelo critério de baixo consumo. Foram selecionadas 130 ligações aleatórias e, a partir dessa lista, os fiscais de campo seguiram para os endereços dessas localidades, onde averiguaram os mais diversos fatores, sendo eles: situação da ligação (ativa ou cancelada), situação do imóvel (construído e/ou habitado), se há fonte própria de água, situação da caixa padrão, situação do hidrômetro, situação do cavalete e se há ligação clandestina.

Já para realizar a análise retroativa, foi utilizado como base o histórico de fiscalização. Utilizou-se os dados da planilha da fiscalização da concessionária, considerando, os seguintes tipos de irregularidades: ligações clandestinas e *bypass*, hidrômetro invertido, hidrômetro inclinado e hidrômetro danificado com fraude. Com bases no critério adotado para o trabalho, todas as ligações em que a média dos últimos 4 (quatro) meses ficou abaixo do consumo definido como limite, foram consideradas suspeitas e sujeitas a fiscalização de campo. Assim, todas as ligações classificadas com as irregularidades supracitadas que estiverem na lista de irregulares da fiscalização, criada a partir do critério da ferramenta, são consideradas efetivamente irregulares.

Por fim, para automatizar o processo de avaliação de suspeitos, foi criada uma ferramenta informatizada para uso de concessionárias de saneamento, com intenção de oferecer mais praticidade e rapidez na detecção de ligações possivelmente suspeitas. Essa funcionalidade permite, a partir de um critério adotado e um banco de dados de consumo, apontar ligações fora de um determinado consumo esperado e, então, fornecer a localização dessa ligação com todas as informações disponíveis no cadastro. A meta é avaliar uma matrícula que seja, estatisticamente, fora de um padrão determinado e, a partir disso, direcionar as ações de combate a fraudes. Destaca-se que as ligações apontadas são anormalidades de consumo e não necessariamente uma irregularidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

DEFINIÇÃO DO CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO DE SUSPEITOS

Conforme a Figura 1, foi criado um gráfico *box-plot* dos consumos registrados como irregulares. Destaca-se que a definição do critério se deu a partir dos consumos irregulares das ligações fiscalizadas e não do banco de dados gerais das ligações residenciais de uma economia.

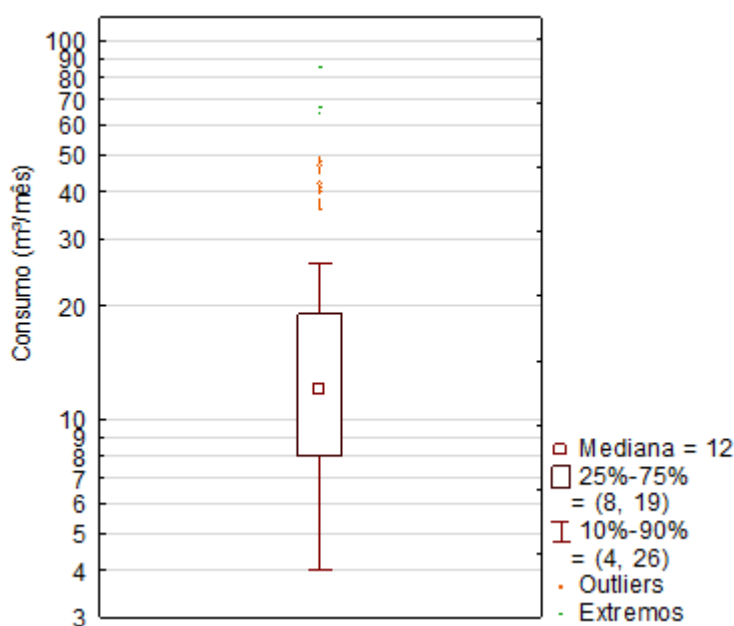


Figura 1 – Box-Plot dos Consumos Irregulares

Evidencia-se que o critério adotado pela ferramenta para a categoria residencial, para os baixos consumos, são aqueles abaixo de $4\text{m}^3/\text{mês}$, já para altos consumos, que corresponde ao registro de 90% dos consumos, são aqueles acima do valor de $26\text{m}^3/\text{mês}$. Diante disso, evidencia-se que fora dessa faixa de consumo (4 a 26) existem ligações que estão fora de um padrão esperado e, portanto, devem ser objeto de acompanhamento e investigação.

FERRAMENTA INFORMATIZADA

A ferramenta possui quatro estruturas básicas, sendo que uma é exclusivamente administrativa, que é a de cadastro de usuários, já as outras são de cunho informativo. Destaca-se que o sistema pode ser acessado em qualquer dispositivo eletrônico que tenha acesso a internet, não sendo necessário a instalação de um *software* em um determinado computador ou outro dispositivo.

É a partir do critério que o menu Resultados adota um valor de comparação e foi criada a tela de definição de critério. Os valores preenchidos para cada categoria correspondem aos valores de limites 10% e 90% diagrama de caixa do estudo da análise exploratória. Esses valores são bases de comparação utilizados pela média de consumo dos últimos 4 (quatro) meses. A Figura 2 demonstra o menu Definir Critério:

Figura 2 – Tela Definição Critério

Partindo da hipótese que, para a avaliação da eficiência da ferramenta informatizada, são realizados testes a partir do auxílio da companhia de saneamento que a utilize, o critério pode ser ajustado conforme sua acertabilidade vai sendo testada. Assim, busca-se encontrar o melhor valor de comparação com a melhor definição da característica do consumidor.

A Figura 3 mostra a tela de resultados, dentro desse menu existem dois locais de preenchimento de informação: filtro de critério e filtros gerais. No primeiro, o usuário deve definir sua pesquisa entre alto ou baixo critério, podendo exibir os resultados de apenas um desses. O segundo é um filtro de localização onde se pode definir a área geográfica de investigação. Por fim, os resultados são exibidos, sendo possível classificar por ordem, crescente ou decrescente, conforme a prioridade de investigação.

Filtros de Critério

Aviso: Você deve marcar o filtro "Exibir Resultados" em Altos Consumos ou Baixos Consumos.

☒ Exibir resultados
☒ Definir critério ALTO: Entre 0 (%) e 80 (%) Maior

☐ Exibir resultados
☐ Definir critério BAIXO: Entre (%) e (%) Menor

Buscar

Filtros Gerais

Matrícula: Endereço: Bairro:
 Setor: Classificação: Grupo Comercial:

☒ Exibir ligações inativas

Buscar

Num. Matrícula	Endereço	Setor	Classificação	Grupo Comercial	Última leitura (10/15)	Média de consumo	Critério	Situação em relação ao critério
			RESIDENCIAL		18	20,33	12	66,67% MAIOR

Figura 3 – Tela de Resultados

Essa parte da ferramenta é a principal da estrutura elaborada, sendo através dela que são apontadas as ligações potencialmente suspeitas. O principal objetivo dessa tarefa é apresentar resultados que auxiliem a encontrar ligações com economias não declaradas, com mudanças de categorias não declaradas e ligações irregulares. Para isso, é necessário verificar caso a caso, pois existem diversas razões para que exista um consumo abaixo ou acima do normal para uma determinada ligação, sendo sempre válido investigar para encontrar anormalidades.

AVALIAÇÃO DA ACERTABILIDADE

Em relação à investigação de campo, foi escolhido o Grupo de Faturamento que apresentou o maior desvio padrão na avaliação preliminar. Os fiscais de campo da companhia foram investigar 130 ligações aleatórias desse setor apontadas pela ferramenta.

A equipe de fiscalização utilizou essas ligações e obteve sucesso em encontrar problemas, inconsistências ou irregularidades em 13,8% das averiguações. Havia duas ligações (uma clandestina e um hidrômetro danificado), representando 1,5%, que podem ser consideradas como fraude ou roubo de água, já que o usuário interfere no hidrômetro para pagar menos ou faz uma instalação de captação anterior ao hidrômetro. Já os outros casos são relacionados ao cavalete, ou seja, é necessário acompanhar para evitar problemas com fraudes, onde o usuário visa impedir o correto funcionamento do sistema de medição.

Como segundo método de análise de efetividade, utilizou-se a análise retroativa. Primeiramente, a Tabela 1 representa, em resumo, o banco de dados do histórico da fiscalização da concessionária e demonstra a efetividade encontrada pela companhia, que é utilizado para efeito de comparação.

Tabela 1 – Resumo da Fiscalização da Companhia (2013-2015)

Total de ligações fiscalizadas		116.224
Total de irregularidades por item	Hidrômetro danificado com fraude	853
	Hidrômetro invertido	283
	Hidrômetro inclinado	1.057
	Ligação clandestina e <i>by-pass</i>	5.189
Total		7.382
Efetividade (%) - Número de irregularidades / total de ligações fiscalizadas		6,35

A efetividade da fiscalização, em relação aos anos de análise, mostrou que em torno de 6 (seis) ligações a cada 100 (cem) investigadas têm algum tipo de fraude em relação hidrômetro ou é uma ligação clandestina ou *by-pass*. Esse índice pode ser melhor, se existir uma orientação à fiscalização quanto aos locais onde é feita a investigação e a averiguação. Evidencia-se que as irregularidades elencadas são aquelas consideradas que podem ser detectadas a partir de uma análise de consumo de um banco de dados.

É importante destacar que a fiscalização da companhia avalia, numa abordagem de campo, os mais variados aspectos de uma ligação, como: hidrômetros fraudados, hidrômetros invertidos, hidrômetros danificados, hidrômetros com a cúpula fosca, hidrômetros retirados, ligações violadas, ligações clandestinas, *by-pass*, vazamento no cavalete, vazamento no ramal, cavalete sem lacre. Considerando todos esses critérios, o histórico da fiscalização traz um índice de efetividade maior, que sobe de 6% para próximo de 25%. Isso acontece porque o fiscal observa os mais diversos fatores quando vai a campo e não somente a questão de irregularidades. Também existem itens que não podem ser detectados a partir de uma análise de consumo, como cavalete sem lacre e hidrômetro com a cúpula fosca ou suada.

Esse fator corrobora com a fiscalização feita a partir do apontamento da ferramenta informatizada que, para o teste de campo, apontou um índice de efetividade de irregularidades e fraudes de apenas 1,5%, entretanto, caso avaliado o total de inconsistências o índice sobe para 13,8%. Destaca-se que para esse teste, a amostra foi pouco representativa, já para o trabalho padrão da fiscalização foram feitas de 31.729 a 46.882 fiscalizações conforme o ano (2013 a 2015).

Por fim, foi realizada a análise retroativa das ligações suspeitas apontadas pela ferramenta, conforme a Tabela 2 que mostra resultado, dentro das ligações fiscalizadas, quais foram realmente irregulares.

Tabela 2 – Resumo Comprovação de Irregularidades

Grupo de faturamento	Suspeitas fiscalizadas pela companhia	Comprovadamente regulares	Comprovadamente irregulares	Efetividade	Comparativo com a companhia (6,35%)
GF 53	243	214	29	11,93%	+ 87,87%
GF 55	587	510	77	13,12%	+ 106,61%
GF 57	460	438	22	4,78%	- 24,72%
GF 59	801	748	53	6,62%	+ 4,25%
GF 61	799	770	29	3,63%	- 42,83%
GF 63	975	915	60	6,15%	- 3,15%

Grupo de faturamento	Suspeitas fiscalizadas pela companhia	Comprovadamente regulares	Comprovadamente irregulares	Efetividade	Comparativo com a companhia (6,35%)
GF 65	566	536	30	5,30%	- 16,54%
GF 66	528	490	38	7,20%	+ 13,39%
GF 67	846	784	62	7,33%	+ 15,43 %
GF 68	812	756	56	6,90%	+ 8,66 %
TOTAL	6.617	6.161	456	6,90%	+ 8,66 %

O índice de efetividade varia de 3,63% até 13,12%, mostrando que esse índice é altamente dependente da região onde o critério é aplicado, ou seja, recomenda-se que sejam adotados diferentes critérios de acordo com a região da cidade e que esses passem por constante calibração a fim de obter melhor eficiência. O resultado geral encontrado foi de 6,90% de irregularidades efetivas, considerando todo o banco de dados, o resultado foi superior ao teste de campo (1,5%), sendo maior que o resultado da própria concessionária que é de 6,35%. Destaca-se que, no GF 55 foi encontrado 13,12% de ligações efetivamente irregulares (conforme mostrado na Tabela 2), o que demonstra a variabilidade de acertos conforme a região da cidade.

Segundo Humaid (2012), a cidade de Gaza/Palestina possui uma taxa de acerto na fiscalização que varia de 1 a 10%, resultados que corroboram com análise feita pelo presente método. Entretanto, através de aplicação da técnica de *data mining* de forma extensiva, pode-se chegar até 80% de eficiência na detecção de fraudes, o que sugere que esse tipo de investigação, com análise de banco de dados, é essencial para reduzir as perdas aparentes por fraude.

CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento do trabalho, foram obtidos padrões estatísticos do comportamento de consumo mensal de consumidores de diferentes categorias, destacando uma análise mais detalhada da categoria Residencial. Através desses resultados, foi possível avaliar o efeito que o critério adotado por diagramas de caixa, considerando os extremos em 10% e 90% em ligações irregulares, teve sobre o banco de dados das ligações residenciais, em baixos consumos.

Com a aplicação da metodologia e com o auxílio da análise exploratória, foi desenvolvida uma ferramenta informatizada para automatizar o procedimento de detecção de consumos suspeitos. O banco de dados da companhia foi utilizado como base e a partir dele, já com a definição dos critérios, foi possível identificar ligações potencialmente suspeitas da categoria residencial. Destaca-se que sua interface e algoritmos foram desenvolvidos para deixar um critério não fixo e, assim, permitir que seja feita uma calibração constante do critério adotado, com objetivo de obter a melhor eficiência e ser aplicável em qualquer companhia de saneamento.

A ferramenta foi testada de duas maneiras, para o primeiro teste foram encontradas 1,5% de ligações efetivamente irregulares e 13,8% de problemas relacionados com a ligação: hidrômetro, caixa padrão e cavalete. Evidencia-se que, não somente uma efetiva irregularidade é apontada, mas também possíveis inconsistências no cadastro ou mesmo problemas decorrentes do equipamento de medição. Já para o segundo teste, há uma grande volatilidade nos resultados, dependendo da região da cidade, foi encontrado eficiência de 3,63% até 13,12%, com resultado geral de 6,90%, tendo como contraponto o resultado da companhia em 6,35%. Sugere-se a aplicação extensiva da ferramenta para obtenção de critérios com rendimentos maiores, adaptando-os por região e por categoria.

Em relação à ferramenta informatizada, é importante que haja o constante aprimoramento de sua interface e a inclusão de novas funções. Algumas funcionalidades que poderiam ser incluídas são: mapeamento com a localização das irregularidades, monitoramento individual de cada ligação, visando apontar alguma anomalia de consumo, e, por fim, a aplicação de diferentes critérios de suspeitos, de acordo com a região da cidade, procurando calibrar a ferramenta à realidade do local onde está sendo executada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ÁGUAS DE JOINVILLE (Org.). Banco de dados operacionais e de fiscalização. Joinville, 2016
2. BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p.: il.
3. GIESEMANN, M. and PING, Z. S. Non-Revenue Water Action Plan for Beijing, IWA Waterloss – 2014, Vienna, 2014
4. HUMAID, E. H. S. A Data Mining Based Fraud Detection Model for Water Consumption Billing System in MOG (Municipality of Gaza). 2012. 79p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Tecnologia da Informação) – Islamic University of Gaza, Palestina, 2012.
5. TARDELLI FILHO, J.; COSTA, A. J. M.; BAGGIO, M. A.; MACHADO, R. R. Controle e Redução de Perdas nos Sistemas Públicos de abastecimento de água. 2015
6. TSUTIYA, Milton Tomoyuki.; Abastecimento de Água, 4 Edição, São Paulo-SP 2006

Capítulo 5



10.37423/230307358

TÉCNICA DE ANÁLISE ESTATÍSTICA DA QUALIDADE COMO MÉTODO DE AVALIAÇÃO - ESTUDO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO NA CALIBRAÇÃO NO SETOR PRODUTIVO

Sebastião Raimundo de Jesus Belém Leitão Filho

Universidade Estadual do Maranhão

Wellinton de Assunção

Universidade Estadual do Maranhão

Jean Robert Pereira Rodrigues

*Universidade Estadual do Maranhão /
Universidade Federal do Maranhão*

Fernando Lima de Oliveira

Universidade Estadual do Maranhão

Wenio Fhara Alencar Borges

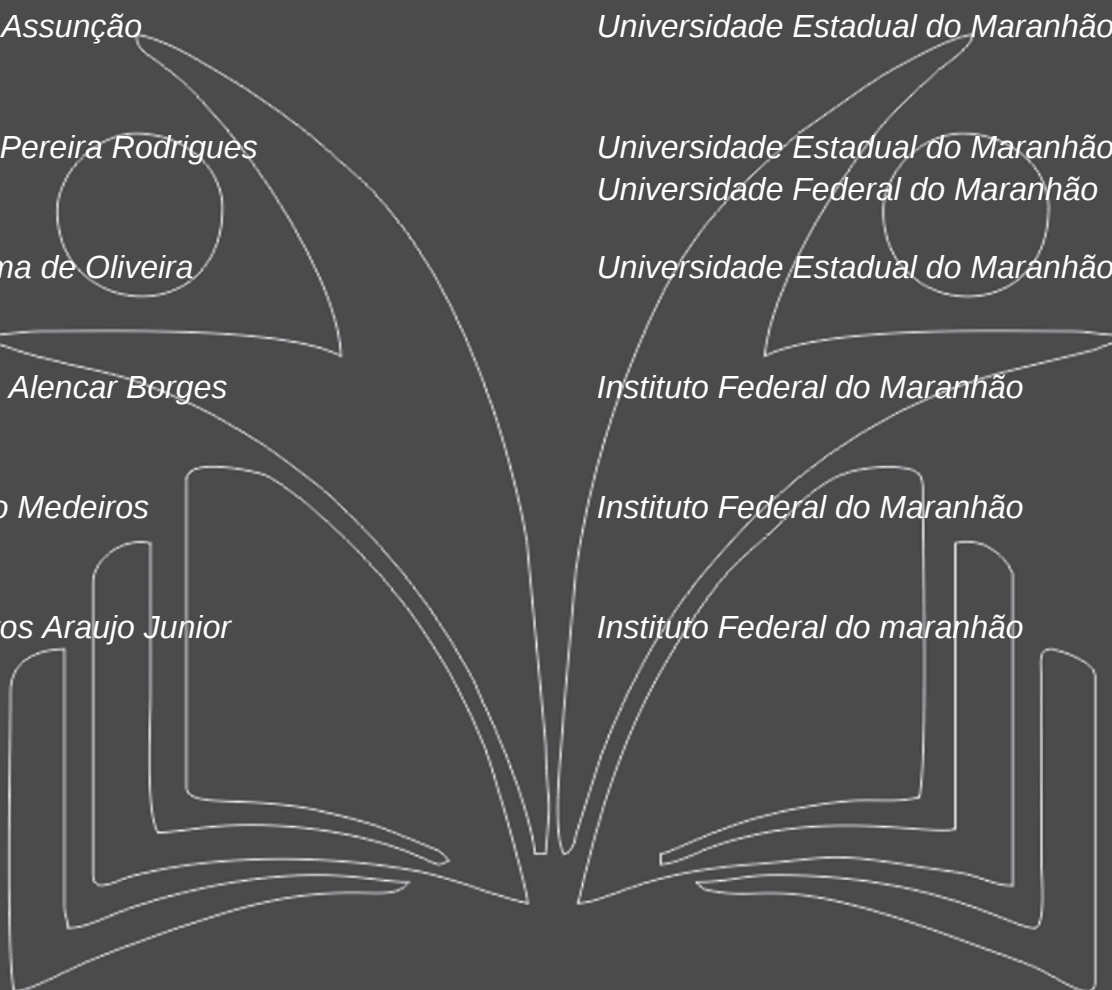
Instituto Federal do Maranhão

Mauro Araújo Medeiros

Instituto Federal do Maranhão

Antonio Santos Araujo Junior

Instituto Federal do Maranhão



Resumo: Este artigo estabelece os princípios e os requisitos para a avaliação da incerteza de medição na calibração tipo A, com um mercado cada vez mais exigente, a tendência natural é a busca de maior confiabilidade e exatidão dos processos de fabricação, com isto a calibração vem ganhando mais espaço e importância dentro das empresas. Todo equipamento utilizado em ensaios e/ou calibrações, incluindo os equipamentos para medições auxiliares (por exemplo: condições ambientais), que tenha efeito significativo sobre a exatidão ou validade do resultado do ensaio, calibração ou amostragem, deve ser calibrado antes de entrar em serviço. A incerteza de medição associada às estimativas de entrada, somente é completa se ela contiver tanto o valor atribuído ao mensurando quanto a incerteza de medição associada e este valor, ou seja, a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando, o tratamento é mantido em um nível geral para atender a todos os campos de calibração. O método esboçado poderá ser complementado por recomendações mais específicas para diferentes campos, para tornar a informação mais prontamente aplicável.

Palavras-chave: Incerteza, erros, calibração e mensurando

INTRODUÇÃO

Dentre as grandezas que mais se executam calibrações nas indústrias, temos a temperatura, pressão e sinais elétricos; são os mais requeridos pelos laboratórios de calibração. Nesta etapa, independente da opção da marca dos padrões de calibração, o importante é observar características típicas para atender aos requisitos de confiabilidade que os processos de fabricação exigem. Temos também o fator de segurança na engenharia, que se dar pelas incertezas na caracterização da magnitude das cargas aplicadas e dos níveis de tensão a elas associados nas condições de serviço; de uma maneira geral, os cálculos das cargas são sempre aproximados, virtualmente todos os materiais de engenharia exibem uma variabilidade nas medidas de suas propriedades mecânicas. Conseqüentemente devem ser permitidas folgas no projeto para a proteção contra falhas não previstas (W.D.CALLISTER, 2008); os mensurandos são as grandezas particulares submetidas a medição, a incerteza do resultado de uma medição reflete a falta de conhecimento exato do valor do mensurando. Todas as medições estão afetadas de erros que podem ser provenientes do mensurando (grandeza medida), do instrumento de medição e/ou de grandezas de influência externa. Podemos afirmar que o resultado de uma medição está afetado de um valor, que determina um intervalo de dúvida sobre ele, denominado de incerteza de medição, Não basta somente conhecer a metodologia da estatística matemática para a obtenção do cálculo de incerteza, é fundamental um bom conhecimento metrológico na área específica, para determinar a incerteza de uma forma confiável.

O cálculo da incerteza de medição, não é um mero exercício de matemática, envolvendo cálculos, ele depende basicamente de alguns conhecimentos, tais como:

- A natureza detalhada do mensurando (grandeza medida);
- O padrão;
- As influências externas ao sistema de medição;
- A amplitude de cada componente de influência;
- E do processo de medição

Nestes casos, o conhecimento da incerteza da medição, permite decidir se o resultado obtido está dentro dos limites estabelecidos e a qualidade de uma medição é avaliada pelo nível dos erros envolvidos, porém, nem sempre é viável buscar o melhor resultado possível para qualquer tipo de medição, como num nível de um laboratório primário, por exemplo. A aceitação dos valores depende da finalidade à qual se destinam estes resultados, por exemplo, se aceita um erro provável de $\pm 20g$,

em uma balança de uso culinário, porém este erro já não será aceito, caso se deseje medir a massa de pepitas de ouro.

O estabelecimento de uma adequada política de calibração não é uma atividade trivial e requer profunda análise dos mensurandos que afetam a qualidade de um dado processo.

METODOLOGIA

ERROS DE MEDIÇÃO

Em geral, uma medição tem imperfeições que dão origem a um erro no resultado da medição. É o erro resultante da calibração do equipamento, isto é, a tendência ou desvio que o equipamento apresenta frente a um padrão de valor conhecido, o resultado de uma medição menos o valor verdadeiro (convencional) do mensurando. A calibração pode se alterar a qualquer momento, em função de diversos fatores, tais como temperatura, características dos materiais e componentes, ação química, desgaste de partes móveis e outros. De um modo geral os erros podem ser agrupados em três categorias: **Aleatório, sistemáticos e grosseiros**.

Figura 1. Fatores que interferem no resultado de uma medição.

Os erros aleatórios decorrem de fatores não controlados na realização de medidas e seu efeito consiste em produzir ao acaso acréscimos e decréscimos no valor obtido. Estes efeitos aleatórios são a causa de variações em observações repetidas do mensurando, ou seja, é a diferença entre o resultado de uma medição e a média de um número infinito de medições do mesmo mensurando sob condições de repetitividade. Embora não seja possível compensar o erro aleatório de um resultado de medição, ele pode geralmente ser reduzido aumentando-se o número de observações; seu valor esperado é zero. Os fatores que contribuem para o aparecimento do erro aleatório podem ser devido a atritos, vibrações, folgas, flutuações de rede, instabilidade interna, condições ambientais, etc.

Os erros sistemáticos também não podem ser eliminados, porém podem ser reduzidos. Se um erro sistemático se origina de um efeito reconhecido de uma grandeza de influência em um resultado de medição, por exemplo, a má calibração de uma balança pode acrescentar sistematicamente sempre a mesma quantidade nas medidas de uma determinada massa, este efeito pode ser quantificado e corrigido.

Erro grosseiro é devido aos fatores externos e não aos instrumentos. A origem do erro grosseiro pode ser fortemente identificada: Leitura errônea ou imprópria do instrumento, defeito do sistema de

medição ou instrumento fora do zero, manipulação indevida, anotação dos resultados diferente dos valores lidos, etc. Embora a eliminação completa do erro grosseiro seja impossível, sua causa deve ser detectada e reduzida, principalmente com o treinamento do pessoal envolvido.

PROPRIEDADES ESTATÍSTICAS DOS SISTEMAS DE MEDIÇÃO

A exatidão definida como o grau de “proximidade” ao valor verdadeiro, ou a um valor convencionalmente aceito como de referência. A Tendência é definida como a diferença entre a média observada de medições repetidas e o valor de referência, isto é, é o “erro sistemático” do sistema de medição.

A Estabilidade é a mudança de a tendência no transcorrer do tempo. Um processo de medição estável deve estar sob controle estatístico com respeito a sua localização. É também conhecida como um deslocamento lento e gradual.

A Linearidade é a mudança da tendência ao longo do campo de operação normal do sistema de medição. É uma correlação dos múltiplos e independentes erros de tendência ao longo do campo de operação, isto é, um “erro sistemático” que faz parte do sistema de medição.

A Repetitividade Está associada a variação entre medições obtidas com um mesmo instrumento quando usado várias vezes por um mesmo avaliador, enquanto estiver medindo idêntica característica de uma mesma peça. Variação entre sucessivas medições, em curto prazo e, feitas sob condições fixas e definidas. Comumente descrita como a variação do equipamento ou a variação do próprio sistema de medição.

AVALIAÇÃO TIPO A E TIPO B

O conceito de erro e de sua análise é prática antiga em metrologia, mas o conceito de incerteza como um atributo de confiabilidade é relativamente novo. A incerteza de medição associada as estimativas de entrada é avaliada de acordo com os métodos de avaliação do Tipo A ou do Tipo B. **A avaliação do Tipo A** da incerteza padrão é o método de avaliação da incerteza pela análise estatística de uma série de observações. Neste caso, a incerteza padrão é o desvio padrão experimental da média que se obtêm de um procedimento de cálculo da média aritmética ou de uma análise de regressão adequada. **A avaliação do Tipo B** da incerteza padrão é o método de avaliação da incerteza por outros meios que não sejam pela análise estatística de uma série de observações. Neste caso, a avaliação da incerteza padrão é baseada em algum outro conhecimento científico, como a incerteza determinada a partir de

informações adjacentes, ao processo de medição, como por exemplo, a incerteza do padrão, tipo de indicação do instrumento, temperatura ambiente, gradientes de temperatura, instabilidade no funcionamento.

Caso exista a necessidade de subdividir a seção, colocar o subtítulo de cada divisão em negrito, mantendo a mesma formatação, sem deixar linha em branco.

AVALIANDO A INCERTEZA PADRÃO TIPO A

Uma estimativa do mensurando Y, a estimativa de saída designada por y, é obtida pela equação (1) usando estimativas de entrada xi para os valores das grandezas de entrada Xi:

$$Y = f(X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n) \quad (1)$$

Na maioria dos casos, a melhor estimativa disponível do valor esperado de uma grandeza X que varia aleatoriamente e para a qual n observações independentes foram obtidas sob as mesmas condições de medição, é a **média aritmética** ou **média** das n observações, o valor mais provável da medida de uma variável das medidas efetuadas. A média aritmética é dada pela seguinte expressão:

$$\bar{x} = \frac{(X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n)}{n} \quad (2)$$

Simplificando em:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3)$$

Sendo; xi = valor independente de cada medição; n = número de medições.

A incerteza de medição associada com a estimativa é avaliada de acordo com um dos seguintes métodos: Uma estimativa da variância da distribuição de probabilidade fundamental é a **variância experimental** $S^2(x)$ dos valores de Xi que é a variância estimada (experimental) das medidas de dados contínuos de uma amostra:

$$S^2(x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4)$$

A raiz quadrada positiva da variância experimental é conhecida como desvio padrão experimental, O **desvio padrão experimental** é calculado com base em amostras, qual se utiliza em metrologia. Um

valor alto para o desvio padrão corresponde a um elevado grau de espalhamento., ou seja, caracteriza a variabilidade dos valores de X_i observados, mais especificamente, sua dispersão em torno da média; de acordo com a expressão abaixo:

$$S^2(\bar{X}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

A melhor estimativa da variância da média aritmética " $\bar{X}$ " é a **variância experimental da média** dada pela expressão seguinte:

$$S^2(\bar{X}) = \frac{S^2(X)}{n} \quad (6)$$

Substituindo a equação (4) em (5), ficamos com a seguinte expressão:

$$S^2(\bar{X}) = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2 \quad (7)$$

Onde a raiz quadrada positiva de $S^2(\bar{X})$ é o **desvio padrão experimental da média**, $S(\bar{X})$. Este valor quantifica quão bem estima o valor esperado de " $\bar{X}$ " e qualquer um dentre eles pode ser usado como medida da incerteza de " $\bar{X}$ ".

$$S(\bar{X}) = \frac{\sqrt{S^2(\bar{X})}}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

Para uma grandeza de entrada determinada por n observações repetidas independentes, podemos dizer que a **incerteza padrão da média** é o desvio padrão experimental da média. Substituindo a expressão (6) em (7), ficamos com a equação da incerteza, $U(\bar{X})$:

$$U(\bar{X}) = S(\bar{X}) = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2}}{\sqrt{n}} \quad (9)$$

Expandindo a equação (8), colocando os desvios da média, ficamos com a equação completa da incerteza na medição, parâmetro, associado ao resultado de uma medição, que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando.

$$U(X_i) = SX$$

$$= \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1} \left[(X_1 - \bar{X})^2 + (X_2 - \bar{X})^2 + \dots + (X_n - \bar{X})^2 \right]}}{\sqrt{n}} \quad (10)$$

Esta estimativa da variabilidade das medidas devido a erros aleatórios por meio do desvio padrão supõe que a freqüência das medidas obedece à distribuição gaussiana dada na figura 1, seguinte. Nesta figura temos a representação gráfica de uma distribuição normal. Estão indicadas as percentagens de casos por **desvio padrão** $\sigma = S(X_i)$.

Figura 2. Distribuição gaussiana

$$X = \bar{X} \pm S(X) \quad (11)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

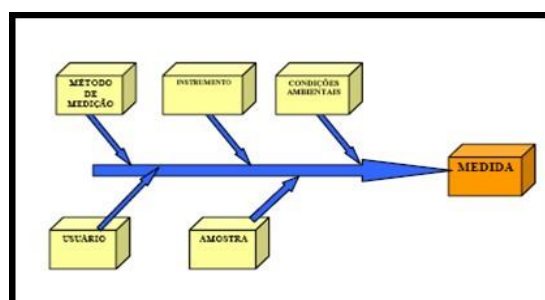


Figura 1. Fatores que interferem no resultado de uma medição.

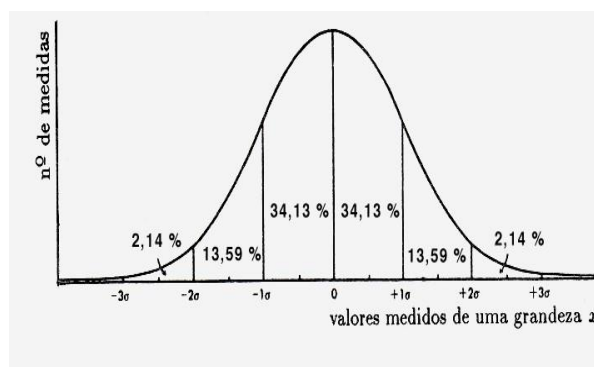


Figura 2. Distribuição gaussiana

COMO EXPRESSAR O RESULTADO DAS MEDIDAS

O procedimento estatístico usualmente indicado para o tratamento de medidas experimentais consiste justamente em fazer os cálculos acima indicados e expressar o valor de uma grandeza X usando os dados obtidos com as relações (3) e (4). O resultado de uma medição nunca é um ponto e

sim um intervalo. Admitir que o valor exato existe e embora ele não seja conhecido, podemos estimar os limites do intervalo em que ele se encontra.

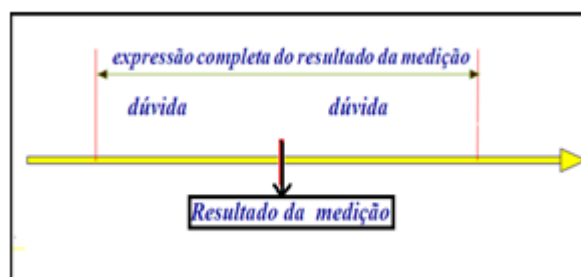


Figura 3. Intervalo de uma medida.

Um sistema pistão-cilindro ser montado sobre as seguintes, informações.

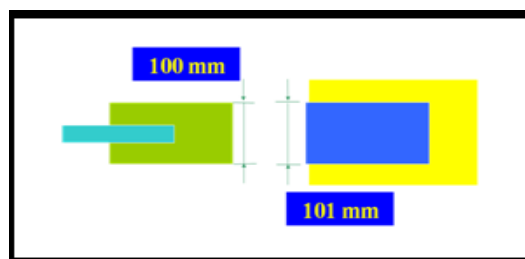


Figura 4. Ajuste cilindro pistão.

Considerar que essas peças foram calibradas e apresentaram erro zero. Se a incerteza for ± 1 mm.

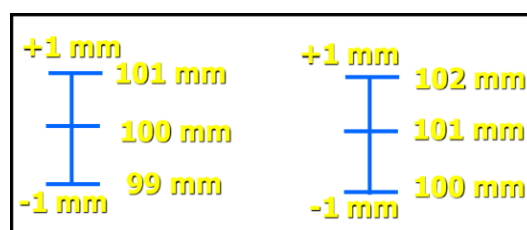


Figura 5. Ajuste cilindro pistão.

Valor da grandeza = média das n medidas $\pm$ desvio padrão da média.

No caso, $X = 100\text{mm} \pm 1\text{mm}$ Equação (11)

CONCLUSÃO

A incerteza de medição deve ser estimada para cada processo de calibração abrangido pelo sistema de gestão da confirmação metrológica, estimativas da incerteza decorrentes das calibrações devem ser registradas. A análise das incertezas de medição deve ser completada antes da calibração do equipamento e da validação do processo de calibração. Todas as fontes conhecidas da variabilidade dos processos de calibração e respectivas medições devem ser documentadas. Os equipamentos de

inspeção, medição e ensaios devem ser utilizados de tal forma, que assegurem que a incerteza das medições seja conhecida e consistente com a capacidade de medição requerida e importância em atender aos processos de calibração e um ambiente favorável dentro das empresas para que se consiga confiabilidade e exatidão na fabricação, com qualidade assegurada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a Deus, em segundo lugar ao corpo de docentes e colaboradores, que nos deram a possibilidade de publicarmos esse artigo, e em terceiro lugar a Instituição UEMA que permitiu a conclusão desse projeto.

REFERÊNCIAS

Adval de Lira, Francisco. Metrologia na Indústria. 6º Ed. Editora Érica. São Paulo, 2007.

Alves da Silva, Joel. Calibração de Padrões Internos de Trabalho e de Instrumentos Críticos. Encontro para Qualidade de Laboratórios 7 a 9 de Junho de 2005, São Paulo – BRASIL.

CERVO, L. Amando; PEDRO, Alcino Bervian. Metodologia científica. 5º ed. São Paulo: Prentice Hall, 2001

COSTA, S.F. Introdução ilustrada à estatística. 4a ed. São Paulo: Harbra, 2005. 399p

Guia para a Expressão da Incerteza de Medição. 3ª ed. Brasileira. ABNT/ Inmetro, agosto de 2003.

Guide to the Expression of Uncertainties in Testing – NIS 80. Namas, setembro de 1994.

INMETRO. Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia. 2. ed. Rio de Janeiro, INMETRO, 2000. 75 p.

Roberto, Luís. Calibração periódica de instrumentos de medição. Encontro para Qualidade de Laboratórios 1 a 3 de Junho de 2004, São Paulo – BRASIL.

SILVA, LUIZ ROBERTO DA SILVA. A geração de dados de medições confiáveis no setor produtivo.

CEFET-RJ, Rio de Janeiro, 2006. Brasil, W. D. CALLISTER, Jr. Ciência e Engenharia de Materiais: uma Introdução. 7ª Ed, LTC, Rio de Janeiro, 2008.

Capítulo 6



10.37423/230307359

DIMERIZAÇÃO DINÂMICA DE LUMINÁRIAS LED PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA: ESTUDO DE CASO

VINICIUS SANTOS COSTA

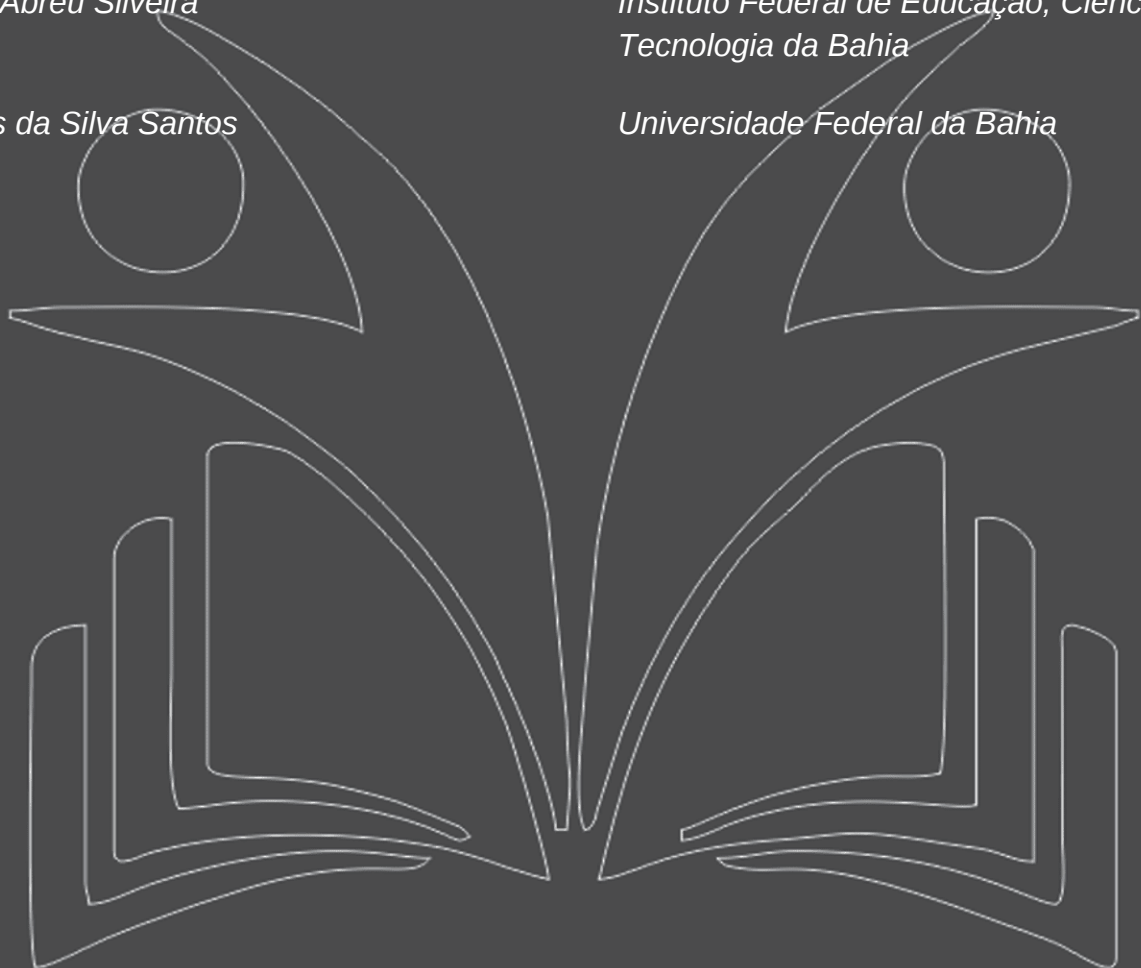
*Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Bahia*

Cristina de Abreu Silveira

*Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia da Bahia*

Wild Freitas da Silva Santos

Universidade Federal da Bahia



Resumo: A modernização e efficientização da iluminação pública nos municípios Brasileiros estão ocorrendo principal mente com a adoção de iluminarias LED dotadas de sistema remoto de controles e gestão. A possibilidade de regular (dimerizar) a intensidade de luz dos pontos de iluminação contribuiu na redução do consumo de energia elétrica das cidades. Este artigo apresenta um estudo de caso sobre a dimerização dinâmica das luminárias com tecnologia LED instaladas na avenida Mãe Stella de Oxóssi, localizada no município de Salvador, Bahia. Para isso foram modelados cenários hipotéticos, no software DIA_{Lux} 4. 13. que considerava redução da capacidade de consumo dessas luminárias, em horários especificados, devido a possibilidade de alternância da classe de iluminação da avenida causada pela redução do fluxo de veículos motorizados na via, situação ainda não abordada pela NBR 5101:2018. Como resultado, foram demonstrados os ganhos de efficientização energética com redução do consumo mensal de energia elétrica em 47% a econômica financeira do sistema de iluminação pública da avenida compare do ao atual contexto.

Palavras-chave: LED. NBR 5101, Eficiência Energética, iluminação Pública, Dimerização.

INTRODUÇÃO

A iluminação pública (IP) é um serviço que tem como objetivo prover de luz, ou claridade artificial, os logradouros públicos no período noturno ou nos escurecimentos diurnos ocasionais, inclusive aqueles que necessitam de iluminação permanente no período diurno. A iluminação pública deve proporcionar visibilidade adequada para a segurança do tráfego de veículos e pedestres, de forma rápida, precisa e confortável [1].

É fundamental, também, para o desenvolvimento dos centros urbanos e reflete não apenas os aspectos culturais de cada região do país, mas também os históricos, legais, financeiros, tecnológicos e socioambientais. A iluminação pública é peça importante no auxílio ao combate ao crime, na redução da violência e consequentemente na melhoria das condições de qualidade de vida das pessoas e das comunidades [2].

No Brasil, o sistema de IP é composto pelos parques de iluminação das cidades e que tem seus projetos e especificações de materiais voltados, especialmente, para eficiência energética, redução de custos e atendimento aos requisitos fotométricos mínimos estipulados pela NB R (Norma Brasileira) 5101:2018 Iluminação Pública - Procedimento [3].

Em 2019, o Brasil possuía pelo menos 18 milhões de pontos de iluminação que representam um consumo na ordem de 14,3 TW_h, cerca de 4,5 % do consumo de toda energia elétrica nacional. Deste percentual, a maior parcela é composta por lâmpadas fluorescentes, a vapor de sódio, mercúrio e outros metais. Assim, o parque brasileiro é constituído por luminárias de tecnologias ultrapassadas, carecendo de manutenção e de consumo elevado [4].

Diferentemente, a tecnologia LED (*light Emitting Diode*) utilizada na iluminação pública apresenta alto índice de eficiência energética, aproximadamente 90% da energia elétrica é convertida em fluxo luminoso, gerando uma economia de consumo entre 50% e 80% quando comparada a tecnologias tradicionais. Além disso, apresenta menor custo de manutenção e de inspeção, tempo de vida útil superior a 50.000 horas, possui driver habilitado para dimerização dinâmica sobre a intensidade da luz e proteção ao meio ambiente, por não emitir radiação UV e não conter gases, mercúrio e outros metais pesados [5].

A efficientização energética com a utilização de luminárias com tecnologia LED não se restringe apenas a redução do consumo de energia elétrica, inerente ao equipamento, mas também a possibilidade de controle e gerenciamento remoto sistemático dos pontos de iluminação nas cidades. Essa gestão é

possível através do sistema de tele monitoramento, gerenciamento a distância da iluminação pública. Esse sistema garante que o operador saiba a exata localização de cada ponto de luz e que tenha acesso instantaneamente a informações de desempenho e de falhas dos equipamentos instalados na via | 6].

Conforme estabelecido pelo Código de Trânsito Brasileiro (CTB), as vias públicas no país apresentam classificação com base no volume médio do tráfego de veículos motorizados sendo a definição de sua respectiva classe de iluminação atrelada ao fluxo de veículos no período compreendido entre 18h e 21h | 7].

As luminárias que compõem o sistema de IP nos municípios brasileiros são acionadas por sensores sensíveis a variação da quantidade de luz ambiente. No Nordeste, a média horária de ligação dos pontos de luz geralmente ocorre a partir das 18h sendo desligados por volta das 6h da manhã do dia seguinte, excluindo-se casos de falhas ocasionais e de locais onde a iluminação artificial é necessária durante o período diurno.

Contudo, a NBR 5101:2018 que define os níveis de iluminação das vias públicas no Brasil, não considera o volume médio do tráfego de veículos motorizados durante as horas totais de funcionamento das luminárias, nesse sentido para estabelecer a classe de iluminação da via é ignorado o que ocorre em 75% desse período que corresponde ao intervalo entre 21h e 6h da manhã.

Paralelamente, a classe de iluminação da via de um logradouro público no Brasil não é variável. Ou seja, por mais que não exista fluxo de tráfego de veículos motorizados que justifique a permanência na classe de iluminação estabelecida para a via, o ponto de luz imperativamente precisa manter o consumo de potência do equipamento para cumprir o requisito luminotécnico.

Este estudo de caso tem como objetivo demonstrar, através de simulação, a efficientização energética na Avenida Mãe Stella de Oxóssi tendo em consideração a possibilidade de variação da classe de iluminação da via. Esse cenário está previsto no plano de revisão da NBR 5101 desenvolvido em fase de consulta pública em 2021, nele está descrito a possibilidade de dimerização dinâmica das luminárias com tecnologia LED instaladas na via conforme redução ou aumento do fluxo de veículos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TÉCNICA

Todo equipamento para a iluminação de vias públicas de um município precisa ter seu projeto executivo aprovado pela prefeitura, além de atender aos parâmetros de iluminação da via definidos pela NBR 5101 em conformidade com o CTB. Atualmente o sistema de telegestão, responsável por conectar as luminárias com tecnologia LED à rede de internet, não apresenta regulamentação no

Brasil, sendo nesse caso adotadas normas internacionais como referência. Adicionalmente, tão importante quanto conhecer as grandezas fundamentais em que se baseia o estudo da luminotécnica, é necessário identificar também as características técnicas do local de instalação dessas luminárias. Por conta disso, serão definidos alguns termos importantes para subsidiar a compreensão das demais seções [8].

2.1 CONCEITOS GERAIS

a) Intensidade luminosa (I): é a quantidade de luz (energia radiante) emitida por uma fonte luminosa em uma determinada direção, possui como unidade a candela (cd).

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega}, \omega \rightarrow 0 \quad (1)$$

Sendo Φ , o fluxo luminoso e ω o ângulo sólido.

b) Fluxo luminoso (Φ): é a quantidade de energia radiante, visível, que atravessa determinada superfície na unidade de tempo, dado em lúmen (lm).

c) Eficiência luminosa (η): é a relação entre o fluxo luminoso emitido pela potência elétrica absorvida, sendo a unidade de medida o lúmen por Watt (lm/W).

$$\eta = \frac{\Phi}{P} \quad (2)$$

Onde Φ , o fluxo luminoso e P , a potência elétrica absorvida.

d) Luminância (L): é a densidade de intensidade luminosa que é refletida de uma superfície em um determinado ângulo, dada em cd/m^2 . Ela se refere à percepção visual e à percepção fisiológica da luz, indicando quanta energia luminosa o olho humano pode perceber quando refletido por um objeto.

e) Iluminância (E): é a densidade de fluxo luminoso recebido pela superfície, dada em $\text{lux (lm/m}^2\text{)}$. Esse parâmetro é fundamental para comprovar a qualidade da iluminação da via.

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (3)$$

Tal que, Φ é o fluxo luminoso e S é a superfície de incidência.

f) Uniformidade (U): é a razão entre a iluminância mínima e média de uma determinada superfície.

A uniformidade é admissional variando entre zero a unidade e indica como está a distribuição de luminosidade naquele local.

$$U = \frac{E_{min}}{E_{med}} \quad (4)$$

Onde, E_{min} , é o menor valor da iluminância e E_{med} é a iluminância média obtida em uma dada superfície.

g) Uniformidade global (U_o): é a razão entre a luminância mínima e a luminância média em um plano especificado.

h) Uniformidade longitudinal (U_L); é a razão entre a luminância mínima e a luminância máxima em um plano especificado.

i) Temperatura de cor correlata (TCC): é uma metodologia que descreve a aparência de cor de uma fonte de luz branca em comparação a um radiador Planckiano. A unidade de medida é dada em Kelvin (K). O valor da TCC regulamentada pelo INMETRO (instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia) para IP no Brasil é de 2700K a 6500K. A Figura 1 apresenta a paleta de TCC utilizada na produção de luminárias com tecnologia LED para o mercado viário brasileiro. Este parâmetro não está relacionado com o calor emitido pela fonte luminosa, mas pela sensação de conforto que a mesma proporciona ao ambiente.

Figura 1 . Paleta de TCC



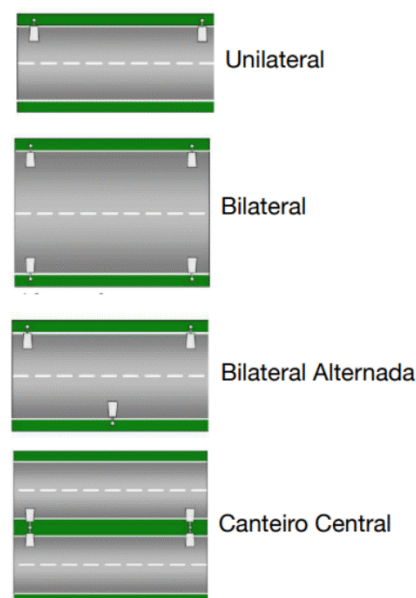
Fonte: Catálogo Técnico BRIGHTLUX, 2021

2.1.2 CONCEITOS DE MONTAGEM DA LUMINÁRIA

- a) Altura de montagem: é distância vertical entre a superfície da via e o centro aparente da fonte de luz ou luminária.
- b) Avanço: é a distância transversal entre o meio-fio ou acostamento da via e a projeção do centro de luz aparente da luminária.
- c) Espaçamento: é a distância entre os postes ad- jacente onde estão instaladas as luminárias, medida paralelamente ao longo da linha longitudinal da via.
- d) Tipologia da via: é a configuração de distribuição dos pontos de iluminação na via pública. A Figura 2 apresenta as tipologias comumente utiliza- das no Brasil, sendo as luminárias representadas por pequenos retângulos.

O processo de montagem de um sistema de IP tem como premissa o respeito à diversidade construtiva do local, como por exemplo, as estruturas das redes elétricas existentes, postes, prédios, arborização, ou qualquer outro componente que possa interferir na instalação do equipamento de iluminação, essas variáveis interferem na escolha da tipologia de via.

Figura 2. Tipologia das vias públicas

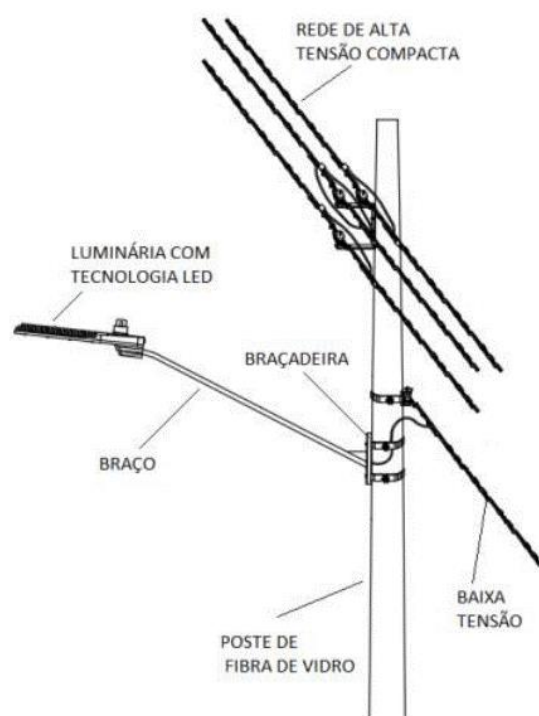


Fonte: Manual de IP, COPEL. 2020

- e) Fator de manutenção (F_0): é o método utilizado para prever a depreciação em longo prazo do fluxo luminoso emitido pela fonte de luz. Ele está também associado à rotina de limpeza das luminárias e o ambiente onde elas se encontram.

A Resolução Normativa 414/2010 da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), em seu artigo 218, estabeleceu as condições vigentes de fornecimento de eletricidade para IP. O investimento, operação e manutenção de ativos físicos dos sistemas locais necessários para a iluminação contínua são partilhados entre os municípios e as distribuidoras regionais às quais a prestação de serviço foi concedida. Os ativos do parque de iluminação pública de responsabilidade do município são lâmpadas, luminárias, braços e equipamentos acessórios, como braçadeiras, reatores e relés. Postes e a rede elétrica, o que inclui subestações e transformadores, são responsabilidade da distribuidora de energia [9]. Os circuitos de iluminação estão ligados a redes de distribuição secundárias, áreas ou subterrâneas, sendo o ponto de entrega o limite de responsabilidade de fornecimento da distribuidora [3]. A Figura 3 exemplifica a montagem de uma luminária com tecnologia LED na estrutura de rede secundária de energia.

Figura 3. Luminária com tecnologia LED instalada em poste da distribuidora local



Fonte: Projeto Básico— Av. Mãe Stella de Oxóssi, 2019

2.2 SISTEMA DE TELEGESTÃO

A solução de telegestão para IP é composta por sensores, geralmente no padrão de fotocélulas ou relés fotoelétricos, acoplados a luminárias viárias com tecnologia LED que fazem a gestão, controle e

telemetria, em tempo real, por meio de uma rede de conectividade sem fio entre os pontos e softwares de gestão | 6].

Esses recursos possibilitam uma gestão inteligente, mais segura e eficiente do parque de iluminação pública das cidades com funcionalidades como programação de acionamento e desligamento de luminárias, diagnóstico de falhas em tempo real, pronto atendimento e reparo e controle de intensidade e do ponto luminoso para adequação a horários [10]. Além disso, o sistema de tele gestão é utilizado na medição de consumo de energia elétrica das luminárias para faturamento pela concessionária de energia. Esse procedimento possibilita um maior controle sobre os gastos públicos já que na maioria dos casos o consumo dos sistemas de iluminação pública é feito por estimativa ou por amostragem.

Os equipamentos componentes do sistema de tele gestão estão elencados abaixo:

a) Controlador: é uma unidade autônoma que realiza o monitoramento e o controle remoto das luminárias com tecnologia LED. Tem por finalidade substituir o sistema fotoelétrico convencional por sistemas inteligentes. Esse dispositivo é conectado à luminária através de uma tomada acoplada no corpo do equipamento, exemplificado na Figura 4. O controlador armazena os dados sobre o estado de funcionamento do dispositivo, alarmes, uso de energia, consumo, tensão, corrente, fator de potência e localização geográfica para, depois, transmiti-los, sem fio, ao concentrador [6].

Figura 4. Acoplamento de controlador (a) na tomada 7 pinos (b) da luminária com tecnologia LED (c)



Fonte: Adaptado do Catálogo Técnico LEDSTAR, 2022

b) Concentrador: apresentado na Figura 5, gerencia e armazena os dados de um grupo de controladores e os transmite para um servidor. Ele também recebe comandos do software de tele gestão e direciona para o controlador adequado.

Figura 5. Concentrado—sistema de Telegestão



Fonte: Catálogo Técnico SMARTGREEN, 2022

c) Software de telegestão: organiza e disponibiliza informações sobre os pontos de iluminação pública para a central de comando. Dessa forma, é possível analisar e tratar dados específicos de cada controlador enviados pelo concentrador. O software possibilita, também, a implementação da Internet das Coisas (IoT) em IP, permitindo o controle de parques de iluminação de forma remota e em tempo real [15].

2.4 PORTARIA N. 20 INMETRO

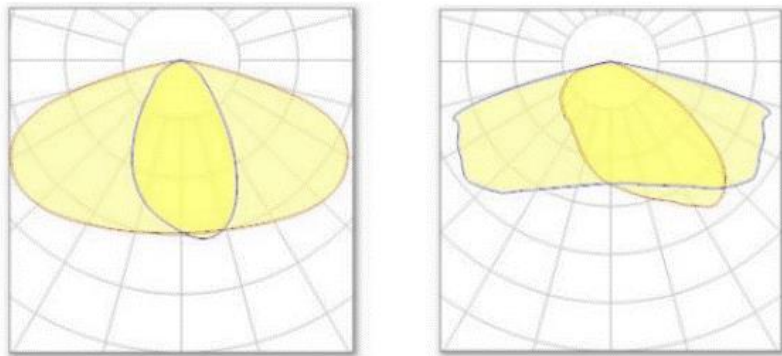
A Portaria n.º20 do INMETRO, aprovada em 15 de fevereiro de 2017, é um instrumento normativo que reconhece quais luminárias para iluminação pública satisfazem as exigências determinadas pelo Regulamento Técnico de Qualidade para Luminárias para Iluminação Pública Viária no país. Ela estabelece os requisitos de cumprimento obrigatório, referentes ao desempenho e segurança dos produtos.

A Portaria n.º20 é aplicada exclusivamente às luminárias com lâmpadas de descarga de até 600W e luminárias com tecnologia LED, sendo que a certificação apenas se aplica a luminárias destinadas a iluminação pública viária no Brasil.

Um dos ensaios exigidos pela Portaria n° 20 é a distribuição luminosa da luminária. Laboratórios acreditados pelo INMETRO produzem a curva foto- métrica do equipamento. A curva, observada na Figura 6, é a representação gráfica polar que mama a distribuição espacial da luz em um plano

cartesiano cujas variáveis são a distância e a intensidade luminosa. Cada modelo de luminária possui uma curva particular de distribuição de luz [11].

Figura 6. Curva fotométrica



Fonte: Catálogo Técnico LED₅TAR, 2020

Além disso, essa curva é convertida para o formato digital (.ies) e pode ser utilizada para simular o comportamento da distribuição de luz da luminária em um cenário construído em software de modelagem para IP. Dessa forma, é possível gerar inclusive relatórios que atestam o atendimento aos perímetros luminotécnicos exigidos pela NBR 5101:2018.

2.5 ABNT NBR 5101. 2018

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) NBR 5101 Iluminação Pública - Procedimento de 2018 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Eletricidade, pela Comissão de Estudo de Iluminação Pública. O projeto de sua primeira e segunda versão foi desenvolvido no ano de 2011. A NBR 5101 está em sua terceira versão, revisada em 2018, para atender a novas práticas de qualidade voltadas para o sistema de iluminação pública. A NBR 5101:2018 prevê os parâmetros mínimos necessários para garantir atendimento a qualidade de iluminação das vias públicas do país.

Os projetos de iluminação das vias públicas brasileiras devem estar atrelados a benefícios econômico e sociais para os cidadãos, como a redução de acidentes noturnos; melhoria das condições de vida, principalmente nas comunidades carentes; auxílio à proteção policial com ênfase na segurança dos indivíduos e propriedades; facilidade do fluxo de tráfego; destaque a edifícios e obras públicas durante a noite e a eficiência energética [1].

2.5.1 CLASSIFICAÇÃO DE VIA

As vias públicas urbanas no Brasil são caracterizadas pela existência de construções às suas margens, com a presença de tráfego de veículos e de pedestres, podendo ser ruas, avenidas, vielas ou caminhos abertos à circulação pública. A classificação de vias segue disposições previstas no Código de Trânsito Brasileiro (CTB) e está diretamente relacionada ao volume e velocidade de tráfego. As vias urbanas no Brasil são divididas em quatro categorias, segundo o CTB [7]:

- a) Via de Trânsito Rápido: possuem acesso especial, sem intersecções de nível, não são ligadas diretamente a lotes e não apresentam passagem direta de pedestres no nível da via. A velocidade máxima é de 80 km/h.
- b) Via Arterial: Avenidas que ligam duas regiões de uma cidade podem ser controladas por semáforo e possuem intersecções em nível possibilitando o acesso a lotes e outras vias, sendo sua velocidade máxima de 60 km/h.
- c) Via Local: destinada ao trânsito local, não possui semáforos e é utilizada para acessar, em geral, áreas privadas. A velocidade máxima é de 30 km/h.
- d) Via Coletora: tem a função de coletar e redistribuir o trânsito pela cidade. Geralmente ligam as vias arteriais e rápidas às locais e apresenta velocidade máxima de 40 km/h.

2.5.2 VOLUME DE TRÁFEGO DA VIA

O volume de tráfego motorizado em uma via é definido pelo valor máximo das médias de veículos por hora obtidas nos períodos compreendidos entre 18h e 21h. Conforme Tabela 1, o tráfego motorizado pode ser classificado em leve, médio e intenso.

Tabela 1. Classificação de tráfego motorizado

Classificação	Volume de tráfego noturno
Leve (L)	Abaixo de 150 a 500
Médio (M)	501 a 1200
Intenso (I)	Acima de 1200

Fonte: NB R 5101:2018

2.5.3 CLASSE DE ILUMINAÇÃO DE VIA

A recomendação de iluminação para veículos é definido em cinco classes, de V1 a V5. A classe de cada via é determinada pelo órgão ou entidade de trânsito ou rodoviário com circunscrição sobre o local, levando-se em conta a função da via, a densidade e complexidade do tráfego.

A Tabela 2 apresenta as possíveis classes de iluminação urbana baseando-se no tipo de via e no seu respectivo volume de tráfego.

Tabela 2. Classe de iluminação da Via

Classificação da via	Classe de iluminação
Vias de trânsito rápido; vias de alta velocidade de tráfego, com	Intenso: V1 Médio: V2
separação de pistas, sem cruzamentos em nível e com controle de acesso; vias de trânsito rápido em geral;	
Vias arteriais; vias de alta velocidade de tráfego com separação de pistas; vias de mão dupla, com cruzamentos e travessias de pedestres eventuais em pontos bem definidos; vias rurais de mão dupla com separação por canteiro ou obstáculo.	Intenso: V1 Médio: V2
Vias coletoras; vias de tráfego importante; vias radiais e urbanas de interligação entre bairros, com tráfego de pedestres elevado.	Intenso: V2 Médio: V3 Leve: V4
Vias locais; vias de conexão menos importante; vias de acesso residencial.	Médio: V4 Leve: V5

Fonte: NB R 5101 :2018

Observe-se que um tipo de via pode apresentar diferentes classes de iluminação que variam de acordo com o volume de tráfego no local. Porém, uma vez definido a classe pelo ente responsável, sua alteração ocorre apenas com uma nova aprovação de projeto junto à prefeitura. Atualmente, a NBR 5101:2018 não permite que uma única via assuma diferentes classes concomitantemente ou que apresente uma classe de iluminação diferente das definidas para a sua classificação.

Para a instalação de uma luminária em via pública no Brasil é necessário que o equipamento, além de possuir certificação do INMETRO, atenda aos níveis adequados de iluminação para aquele local. Para cada classe a NBR 5101:2018 estabelece valores de dinâmica, luminária e uniformidade, podendo ser observados na Tabela 3 e na Tabela 4.

Tabela 3. Iluminância média e fator de uniformidade mínimo para cada classe de iluminação

Classe	E_{med}	U
V1	30	0,4
V2	20	0,3
V3	15	0,2
V4	10	0,2
V5	5	0,2

Fonte: NBR 5101:2018

Tabela 4. Requisitos de luminância e uniformidade

Classe de iluminação	L_{med}	U_o	U_L
V1	2,00	0,40	0,70
V2	1,50	0,40	0,70
V3	1,00	0,40	0,70
V4	0,75	0,40	0,60
V5	0,50	0,40	0,60

Fonte: NBR 5101:20

3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado na Avenida Mãe Stella de Oxóssi, inaugurada em fevereiro de 2019, no município de Salvador, estado da Bahia. Foram comparados os dados de consumo real de energia

elétrica da avenida com o consumo calculado a partir da alteração da classe de iluminação da via nos horários em que o tráfego de veículos motorizados comumente diminui.

A avenida é classificada como uma via do tipo arterial, ela liga trechos importantes da cidade e possibilita o acesso a lotes da região. Ela apresenta fluxo intenso de veículos motorizados no horário das 18h às 21h, tendo dessa forma sua classe de iluminação definido em V1, conforme estabelecido pela NBR 5101:2018 e especificado na Tabela 2.

A Tabela 5 mostra o cenário atual da avenida e a Tabela 6 os cenários propostos, sendo que no horário das 18h às 21h será mantida a classe de iluminação V 1 definido para a via, nos horários das 21h às 0h e das 0h às 06h, as classes serão dinâmicas, assumindo o atendimento luminotécnico equivalente a V2 e V3, respectivamente. Nesse sentido, foi simulado em software a dimerização dinâmica das luminárias da avenida e apresentado a redução de consumo de energia elétrica do sistema.

Tabela 5. Cenário atual conformes N B R 510 I: 2018

Cenário Atual			
Cenário	Horário	Trafégo	Classe de Via
Atual	18h – 6h	Intenso	V1

Fonte: Produzido pelo autor

Tabela 6. Cenários propostos

Cenários Propostos			
Cenário	Horário	Trafégo	Classe de Via
1	18h – 21h	Intenso	V1
2	21h – 0h	Médio	V2
3	0h - 06h	Leve	V3

Fonte: Produzido pelo autor

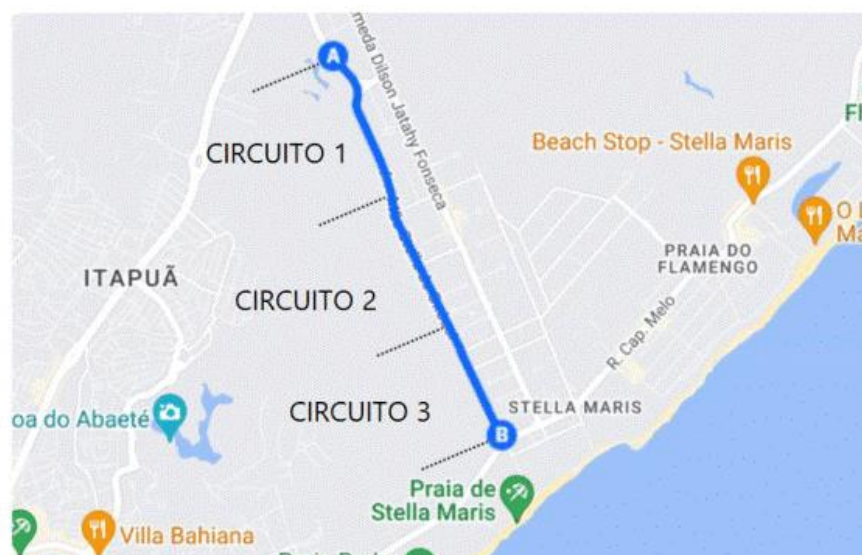
Atualmente, a NBR 5101:2018 não prevê a variação da classe de iluminação da via, independente do horário ou da mudança na classificação de fluxo de veículos motorizados, nem admite que uma via assuma uma classe diferente do disposto para a sua classificação. Dessa forma, com a alternância hipotética da classe de iluminação da avenida será possível demonstrar a eficientização energética na via com a redução do consumo de potência da luminária devido a alteração do fluxo luminoso emitido

por sua parte óptica. Essa possibilidade está descrita na Minuta Final da Consultas Pública da Revisão da NBR 5101 que discute diversos critérios a fim de tornar a norma mais moderna e adaptável às novas tecnologias disponíveis no mercado de IP [13].

3.1 DIAGNÓSTICO TÉCNICO DA AVENIDA

O sistema de iluminação pública da avenida Mãe Stella de Oxóssi é suprido por alimentadores trifásicos, 220/127V, 60Hz, provenientes da rede aérea de baixa tensão da concessionária local de energia. A avenida é composta por três circuitos exclusivos de IP e dispõe de medição individualizada para cada um deles. A Figura 7 mostra essa divisão ao longo dos seus 3,4 km de extensão.

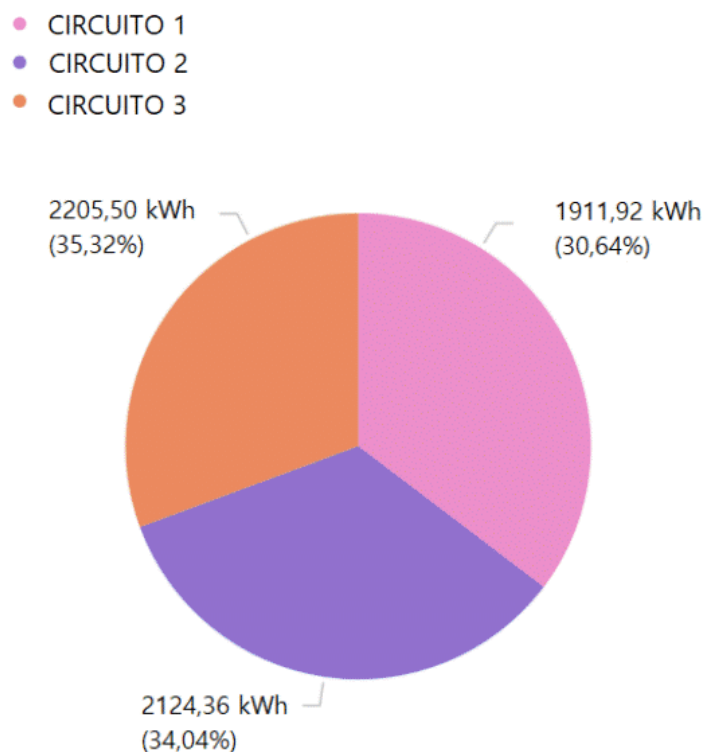
Figura 7. Vista de Mapa- Divisão de Circuitos



Fonte: Autor

O consumo médio mensal de energia elétrica de cada circuito de IP da avenida, referente ao ano de 2020 está apresentado no Gráfico 1, sendo seus valores dados em kWh. O consumo médio mensal de toda a avenida referente ao mesmo ano base é de 6.240,78 kWh.

Gráfico 1. Consumo médio mensal de energia elétrica por circuito de TP da avenida



Fonte: Produzida o pelo autor

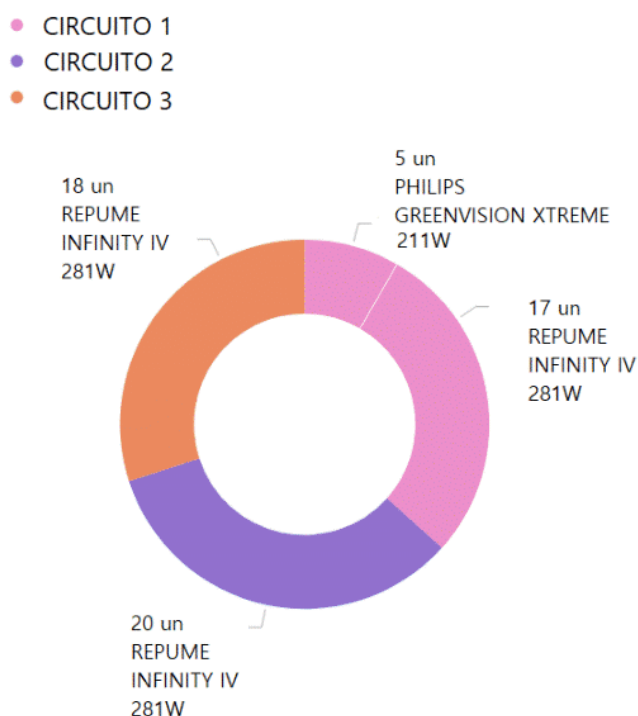
Na avenida estão instaladas exclusivamente 60 luminárias com tecnologia LED, habilitadas para dimerização e gerenciadas por sistema de telegestão. Elas estão conectas a rede na tensão de 220V, podendo operar na faixa de 90V a 305V. A Tabela 7 descreve as características técnicas básicas dessas luminárias e o Gráfico 2 a distribuição por circuito exclusivo de IP.

Tabela 7. Características técnicas das luminárias instaladas na Av. Mãe Stella de Oxóssi

Philips / GREENVISION XTREME	
Consumo (W)	211
Fluxo Luminoso (lm)	26.926
Eficiência Luminosa (lm/W)	127,6
TCC (K)	4.000
Certificação INMETRO	UL-BR 20.1709
Repume / Infinity IV	
Consumo (W)	281
Fluxo Luminoso (lm)	37.968
Eficiência Luminosa (lm/W)	135,1
TCC (K)	5.000
Certificação INMETRO	UL-BR 19.0361

Fonte: Produzido pelo autor

Gráfico 2. Luminárias por circuito exclusivo de IP



Fonte: Produzido pelo autor

Observa-se que o circuito 1 apresenta dois trechos, o primeiro é composto por 5 luminárias da Philips de 211W e o segundo por 17 luminárias da Repume de 281W, totalizando 22 unidades. Nos circuitos

2 e 3 estão instaladas apenas o modelo de 281W da Repume, cada um deles possui respectivamente 20 e 18 unidades. O aspecto físico e construtivo dessas luminárias estão demonstrados na Figura 8 e Figura 9.

Figura 8. Corpo da luminária GREEN VIS ÍON XTREME- Philips



Fonte: Catálogo Técnico— Philips, 2019

Figura 9. Corpo da luminária a Infinity IV – Repume



Fonte: Catálogo Técnico— Repume, 2019

As luminárias implementadas na avenida estão fixadas, em postes de fibra de vidro ou em postes de concreto, através de braços metálicos. A Figura 10 retrata a estrutura de montagem desses equipamentos. Na parte superior da figura, a luminária está instalada em um poste de fibra de vidro exclusivo para IP e na parte inferior, em poste de concreto pertencente à rede de distribuição aérea da concessionária local de energia.

Figura 10. Montagem de luminária na Av. Mão Stella de Oxóssi



Fonte: Google Maps, 2022

Adicionalmente, a Tabela 8 apresenta as características de posteamento para cada modelo de luminária adotado na avenida e a Tabela 9 reúne dados da topologia e das características físicas de construção da via.

Tabela 8. Postejamento na Av. Mãe Stella de Oxóssi

Philips / GREENVISION XTREME
Tipo de Poste: Concreto - Conicidade Reduzida
Altura Útil do Poste (m): 10
Espaçamento entre Postes (m): 30
Altura de Montagem da Luminária (m) : 8
Comprimento do Braço (m) : 3
Ângulo do Braço: 5°
Repume / Infinity IV
Tipo de Poste: Fibra de Vidro Cônico Reto
Altura Útil do Poste (m): 12
Espaçamento entre Postes (m): 40
Altura de Montagem da Luminária (m): 12

Comprimento do Braço (m): 2
Ângulo do Braço: 0°

Fonte: Produzido pelo autor

Tabela 9. Dimensionamento da Av. Mãe Stella de Oxóssi

Topologia	Unilateral
Largura da Via (m)	6
Número de Faixas (un)	2
Avanço (m)	0,05
Largura do Passeio (m)	2
Fator de Manutenção	0,80

Fonte: Produzido pelo autor

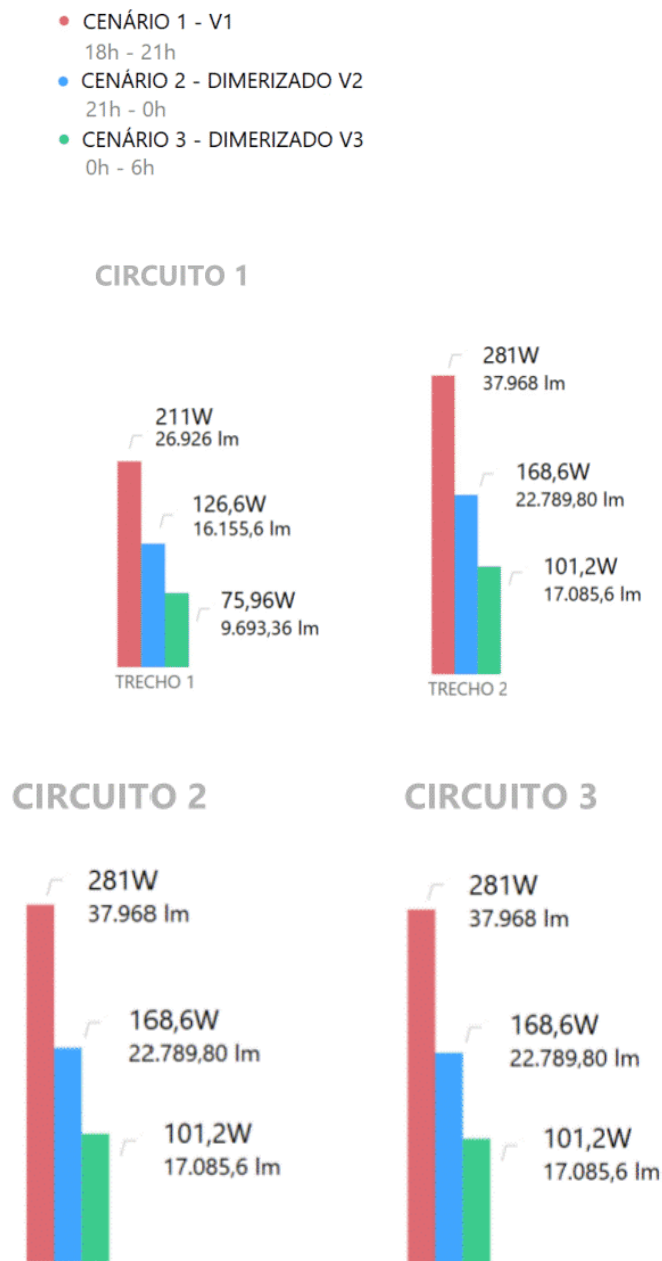
3.1 DIMERIZAÇÃO DINÂMICA VIA SOFTWARE

A construção dos cenários da Avenida Mãe Stella de Oxóssi e a simulação da dimerização dinâmica das luminárias na via, foram feitas através do DIA- Lux 4.13, software de modelagem para sistemas de iluminação, recomendado pelos municípios brasileiros e na comprovação de atendimento luminotécnico dos equipamentos propostos para IP.

Para a dimerização dinâmica da avenida foi estabelecido uma redução inicial progressiva de 40% do consumo de potência e do fluxo luminoso da luminária, ao alternar a classe de iluminação da via para uma inferior, sem comprometer a eficiência luminosa do equipamento. Esse valor é observado em projetos de efficientização energética (substituição de luminária a vapor por LED), nesse caso, servindo

como um referencial podendo ser ajustado conforme atendimento luminotécnico. O Gráfico 3 apresenta os valores considerados, na simulação, de potência e fluxo luminoso para cada cenário.

Gráfico 3. Potência e fluxo luminoso para simulação considerando redução progressiva de 40% entre classes



Fonte: Produzido pelo autor

Os cenários foram construídos, conforme dados levantados no diagnóstico técnico da avenida. A grade de medição utilizada para o cálculo dos valores de iluminância, luminância e uniformidade da via, no software pode ser observada na Figura 11. A grade é definida no capítulo 7 da NBR 5101:2018, onde

é estabelecido o dimensionamento e espaçamento dos pontos de cálculo de acordo com as características da via de estudo [13]. Nesse caso, com duas faixas de rolamento, é determinado o padrão de 17 x 10 pontos de cálculo, a matriz da malha será assim composta por 17 colunas de pontos igualmente distribuídas na direção longitudinal e 5 fileiras de pontos em cada faixa de rolamento [1]

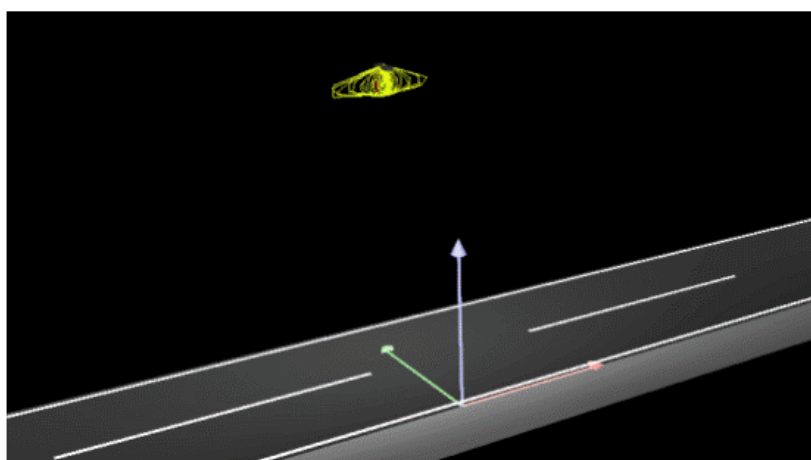
Figura 11. Grade de Medição— DIALux 4.13



Fonte: Produzido pelo autor

Já a Figura 12 apresenta uma visualização genérica do cenário construído em 3D, onde é possível observar o passeio, as pistas de rolamento e a montagem da luminária, representada por sua curva fotométrica.

Figura 12. Visualização 3D— DIALux 4.13



Fonte: Produzido pelo autor

Os resultados do estudo luminotécnico, considerando uma dimerização progressiva de 40% a cada alternância de classe de iluminação da via, gerados com a modelagem dos três cenários são verificados na Tabela 10.

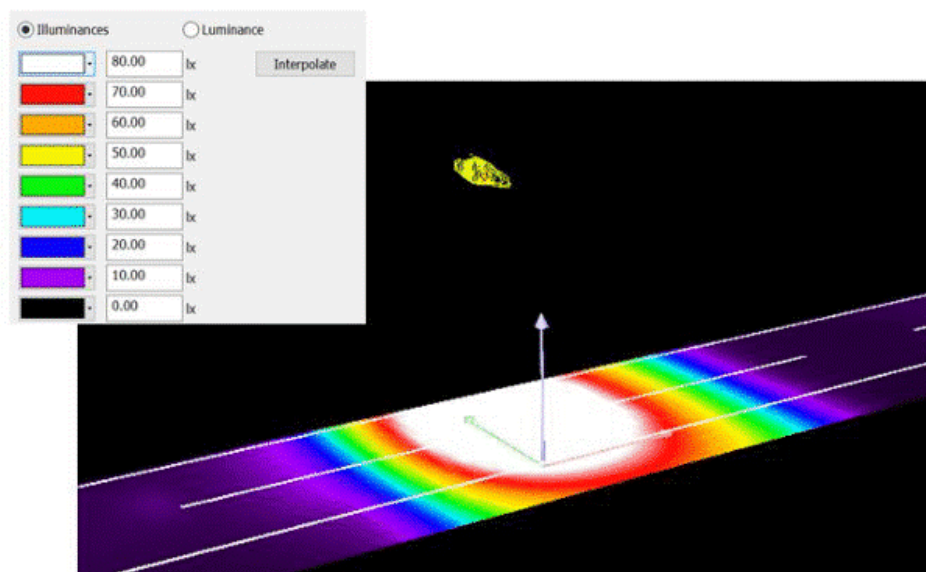
Tabela 10. Resultado luminotécnico considerando redução progressiva de 40% entre classes

CENÁRIO 1 - V1					
18h – 21h					
CIRCUITO	E_{med}	U	L_{med}	U_o	U_L
1 – TRECHO 1	59	0,40	3,94	0,44	0,76
1 – TRECHO 2	46	0,47	3,77	0,46	0,78
2	46	0,47	3,77	0,46	0,78
3	46	0,47	3,77	0,46	0,78
CENÁRIO 2 - DIMERIZADO - V2					
21h – 0h					
CIRCUITO	E_{med}	U	L_{med}	U_o	U_L
1 – TRECHO 1	32	0,33	2,19	0,41	0,73
1 – TRECHO 2	28	0,47	2,26	0,43	0,72
2	28	0,47	2,26	0,43	0,72
3	28	0,47	2,26	0,43	0,72
CENÁRIO 3 - DIMERIZADO – V3					
0h – 06h					
CIRCUITO	E_{med}	U	L_{med}	U_o	U_L
1 – TRECHO 1	26	0,22	1,32	0,38	0,69
1 – TRECHO 2	21	0,47	1,70	0,41	0,70
2	21	0,47	1,70	0,41	0,70
3	21	0,47	1,70	0,41	0,70

Fonte: Produzido pelo autor

Observa-se que os resultados do circuito 1, trecho 2, circuito 2 e 3 são equivalentes. Isso ocorre devido a padronização dos parâmetros de posteamento, das características e dimensionamento da via e do modelo equivalente de luminária utilizado.

A Figura 13 mostras em escala de cores a distribuição da luz na superfície da avenida. Observa-se que um afastamento gradual do ponto de luz causa uma redução dos níveis de iluminância da via.

Figura 13. Cenário —1 Trecho 1 - Distribuição da iluminância na superfície

Fonte: Produzido pelo autor

Além disso, de acordo com o estabelecido pela NB R 5101: 2018, após a simulação da dimerização dinâmica da via, verifica-se que todos os circuitos do cenário 2 atendem aos requisitos luminotécnicos para a classe de via especificada. Nota-se, também, que o cenário 1, que representa a situação real da avenida, com projeto aprovado pela municipalidade, está em conformidade com a normativa.

Contudo, no cenário 3, Tabela 10, em cor vermelha, a uniformidade global (U_0) e a uniformidade longitudinal (U_l) do trecho 1 estão abaixo do requisito, já os resultados destacados em amarelo atendem ao exigido, porém os valores de iluminância média (E_{med}) e uniformidade (U) estão acima do mínimo necessário para a classe V3, podendo, dessa forma, serem reduzidos.

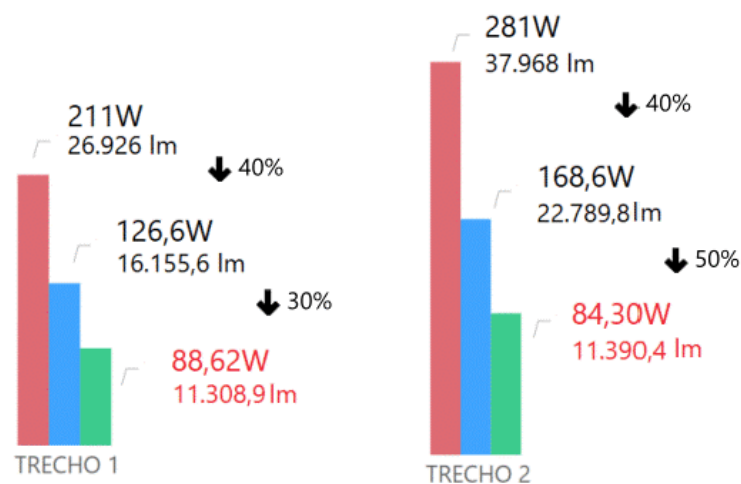
No sentido de adequar esses resultados, o operador do sistema de telegestão poderá alterar de forma específica a redução ou aumento de consumo do equipamento proposto para cada situação. Assim sendo, na tentativa de atender a uniformidade global (U_0) e a uniformidade longitudinal (U_l) foi considerada uma redução de 30% e para acomodar os níveis de iluminância média (E_{med}) e uniformidade (U) em V3 uma redução de 50%, frente aos 40% anteriormente definido na alternância de classe entre o cenário 2 e 3.

O Gráfico 4 mostra os valores de potência e fluxo luminoso (destacados em vermelho) após novo critério de consumo definido para o cenário 3, além disso, a Tabela 11 apresenta os resultados luminotécnicos atualizados.

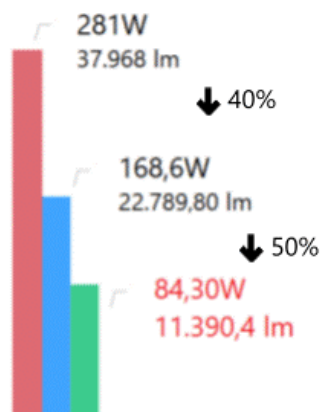
Gráfico 4. Potência e fluxo luminoso para simulação revisados

- CENÁRIO 1 - V1
18h - 21h
- CENÁRIO 2 - DIMERIZADO V2
21h - 0h
- CENÁRIO 3 - DIMERIZADO V3
0h - 6h

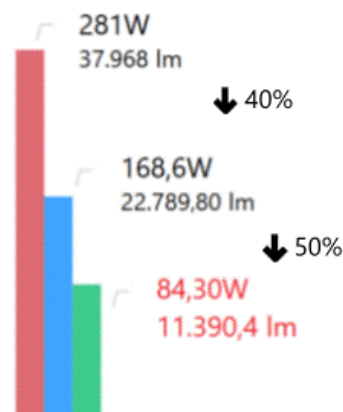
CIRCUITO 1



CIRCUITO 2



CIRCUITO 3



Fonte: Produzido pelo autor

Tabela 11. Resultado luminotécnico revisado

CENÁRIO 1 - V1					
18h – 21h					
CIRCUITO	E_{med}	U	L_{med}	U_o	U_L
1 – TRECHO 1	59	0,40	3,94	0,44	0,76
1 – TRECHO 2	46	0,47	3,77	0,46	0,78
2	46	0,47	3,77	0,46	0,78
3	46	0,47	3,77	0,46	0,78
CENÁRIO 2 - DIMERIZADO - V2					
21h – 0h					
CIRCUITO	E_{med}	U	L_{med}	U_o	U_L
1 – TRECHO 1	32	0,33	2,19	0,41	0,73
1 – TRECHO 2	28	0,47	2,26	0,43	0,72
2	28	0,47	2,26	0,43	0,72
3	28	0,47	2,26	0,43	0,72
CENÁRIO 3 - DIMERIZADO – V3					
0h – 06h					
CIRCUITO	E_{med}	U	L_{med}	U_o	U_L
1 – TRECHO 1	29	0,28	1,53	0,40	0,71
1 – TRECHO 2	18	0,42	1,13	0,41	0,70
2	18	0,42	1,13	0,41	0,70
3	18	0,42	1,13	0,41	0,70

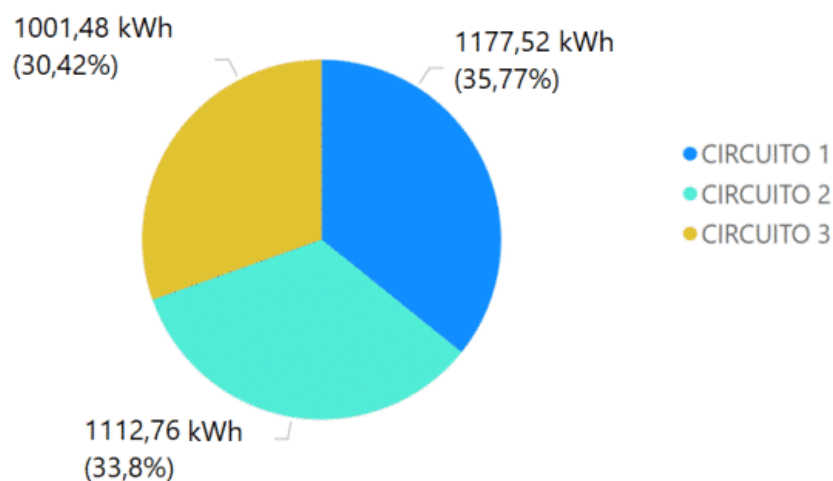
Fonte: Produzido pelo autor

Com o ajuste de potência e fluxo luminoso adequados, a simulação da dimerização atendeu aos requisitos luminotécnicos em todos os cenários. Nesse sentido, a energia nominal mensal consumida por cada circuito exclusivo de iluminação da avenida leva em consideração a potência atualizada através do processo de dimerização. Dessa forma, o consumo nominal mensal para cada circuito, considerando os períodos de tempo propostos para cada cenário, foi calculado conforme fórmula abaixo e estão apresentados no Gráfico 5.

$$E_c = (P_t) * \Delta t * \text{dias} \quad (5)$$

Tal que, P_t é a potência nominal total por circuito e Δt o intervalo de tempo de uso (h).

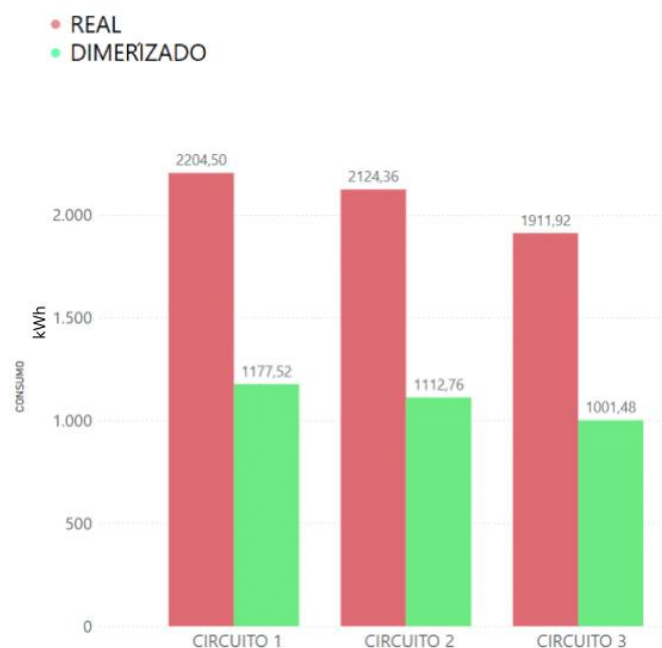
Gráfico 3. Consumo mensal de energia elétrica por circuito após processo de dimerização dinâmica



Fonte: Produzido pelo autor

O comparativo de consumo mensal de energia elétrica dos circuitos, levando-se em conta a situação real e a dimerizada está mostrada no Gráfico 6.

Gráfico 6. Comparativo do consumo mensal de energia elétrica por circuito de IP

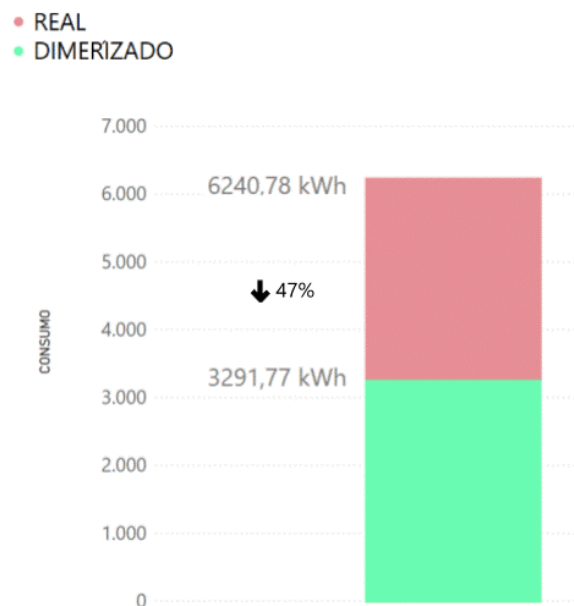


Fonte: Produzido pelo autor

O consumo calculado de energia elétrica de toda a Avenida Mãe Stella de Oxóssi após a dimerização dinâmica simulada é de aproximadamente 3291,77 kWh frente a 6240,78 kWh do consumo médio

mensal real da via. Representando, dessa forma, uma redução de consumo próximo de 47% do, o que pode ser observado no Gráfico 7.

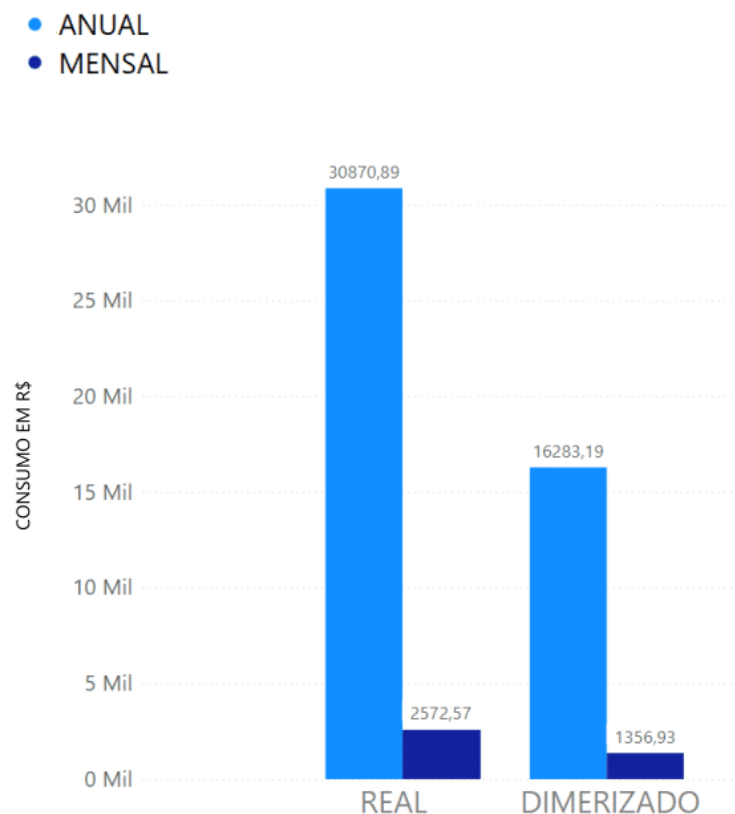
Gráfico 7. Comparativo do consumo total da avenida



Fonte: Produzido pelo autor

Em vista disso, conforme Tabela de Tarifas de Energia Elétrica Grupo B da Neoenergia - Coelba, a tarifa para Iluminação Pública é a B4a, com valor de R\$ 0,4122 para o consumo ativo por kWh, vigente até o dia 21/04/2023. Sendo assim, a economia mensal e a projeção anual, com a possibilidade de implementação do sistema variável de atendimento luminotécnico da via, é de R\$ 1.215,64 e de R\$ 14.587,68, respectivamente. Esse comparativo está apresentado no Gráfico 8.

Gráfico 8. Comparativo econômicos de consumo mensal e anual de energia elétrica da avenida



4 CONCLUSÃO

A versão atual da NBR 5101 não contempla em seu escopo as possibilidades que surgiram com o controle e gestão dos sistemas de iluminação pública difundidos através da tecnologia LED. De certo, este estudo de caso evidencia a necessidade de uma IP integrada e responsiva a uma realidade mais contemporânea dos parques de iluminação das cidades.

O estudo proposto neste trabalho foi capaz de promover uma redução do consumo de energia elétrica de 47% na Avenida Mãe Stella de Oxóssi. Assim sendo, caso a versão final da atualização da NBR 5101 incorpore a possibilidade de alternância da classe de iluminação da via atrelada à variação do fluxo de veículos motorizados, conforme demonstra- do por este artigo, através da dimerização dinâmica, será possível eficientizar o sistema de iluminação pública no Brasil consideravelmente. Além disso, é salutar inferir que ganhos de eficiência no consumo de energia elétrica geram ganhos financeiros para o município.

5 REFERÊNCIAS

- [1] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 5101 Iluminação pública : Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT. 2018. 35 p.
- [2] MAIA, A. C. A EVOLUÇÃO DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA: Gestão, eficiência e modernização. Orientador: Prof. Dr. Luiz Fernando Rispoli Alves. 2018. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Controle e Automação, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: <https://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/1637>, acesso em: 8 mai. 2022.
- [3] COPEL - Companhia Paraense de Energia. Manual : Iluminação Publica. Paraná: COPEL. 2012. 44 p.
- [4] SIL, A. C. Iluminação pública: os desafios da modernização. Brasil Energia, v. 38, n. 457. Junho. 2019. 38 p.
- [5] BNDES. Banco Nacional do Desenvolvimento. Iluminação LED: principais benefícios. Rio de Janeiro: BNDES, 2017. Disponível em: <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/iluminacao-led>. Acesso em: 6 mai. 2022.
- [6] SMART GREEN. Telegestão da iluminação pública. Curitiba: SMART GREEN, 2020. Disponível em: <https://smartgreen.net/solucoes/telegestao-de-iluminacao-publica/>. Acesso em: 8 mai. 2022.
- [7] BRASIL. Lei nº 9.503, 23 de setembro de 1997. Código de Trânsito Brasileiro. Brasília, 23 set. 1997.
- [8] CELG - Companhia Energética de Goiás. Critérios de Projetos de Iluminação Pública: NTC-14. Goiás: Setor de Normatização Técnica. 2006. 34 p. Disponível em: <https://abrir.link/fQtN4>. Acesso em: 1 abr. 2022.
- [9] CBIE. CBIE ADVISORY. COMO FUNCIONA A ILUMINAÇÃO PÚBLICA?. São Paulo: CBIE, 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/como-funciona-a-iluminacao-publica>. Acesso em: 1 mar. 2022.
- [10] NOVABRICO. Novabrico Energia Solar. ILUMINAÇÃO PÚBLICA (IP). São Paulo: NOVABRICO, 2021. Disponível em: <https://novabrico.com.br/project/iluminacao-publica-ip/>. Acesso em: 1 mar. 2022.
- [11] VIVA DECORA PRO. VIVADECORA. Distribuição de luz. São Paulo: VIVADECORA, 2018. Disponível em: <https://www.vivadecora.com.br/pro/curva-fotometrica/>. Acesso em: 8 abr. 2022.
- [12] SEMOP - Secretaria Municipal de Ordem Pública. Projeto Elétrico - Memorial Descritivo: Av. Mãe Stella de Oxóssi. Salvador. 2019. 22 p.
- [13] NOVAIS, Igor dos Santos. Algoritmo de Cálculo Luminotécnico para Iluminação Pública em VBA. Orientador: Prof. Dr. Kleber Freire. 2021. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Colegiado do Curso de Eng. Elétrica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021.
- [14] COELBA. Neoenergia. TABELA DE TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA GRUPO B. Salvador: Coelba, 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/viniciuscosta/Downloads/01-neoenergia-coelba-tarifasdeenergiaelettrica-grupo-b-abri1-2022-reh-n-3021.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2022.

[15] j IP MINAS. IP Minas. Como funciona o software de telegestão na iluminação pública?. Minas Gerais:IPMinas,2021.Disponívelem:<https://www.ipminas.com.br/comofuncionaosoftwaredetelegestao-na-iluminacao-publica/>. Acesso em: 24 mai. 2022.

Capítulo 7



10.37423/230307366

A TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA EM UMA CADEIA DE SUPRIMENTOS VERDE

MARCELA MARÇAL ALVES PINTO MICK

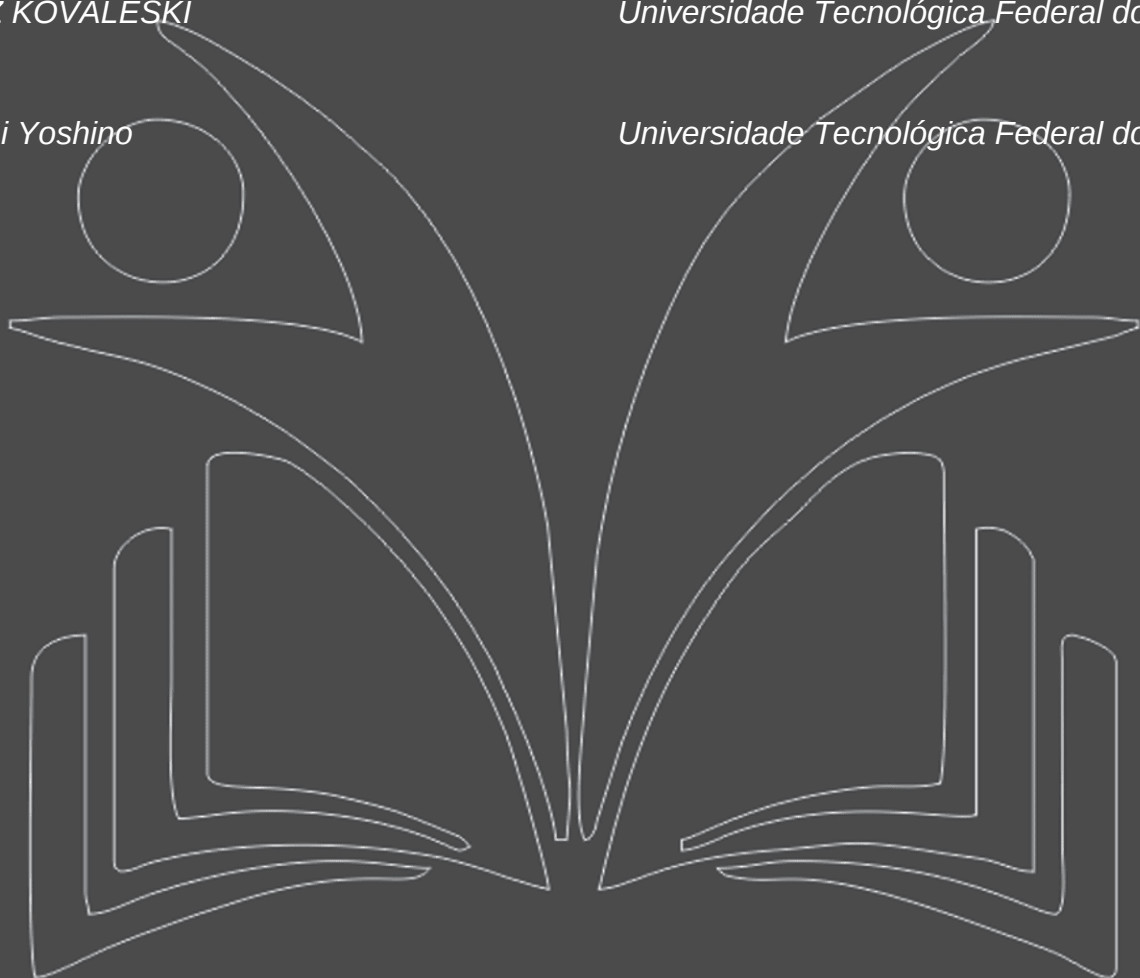
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

JOÃO LUIZ KOVALESKI

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Rui Tadashi Yoshino

Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Resumo: A presente pesquisa objetivou apresentar a relação existente entre Cadeia de Suprimentos Verde (Green Supply Chain Management - GSCM) e a Transferência de Tecnologia (TT). Para isso, foi realizada uma revisão de literatura sobre GSCM e TT. Foram estudados 334 trabalhos. Diante deste portfólio de artigos, as seguintes categorias foram identificadas em cada um dos artigos na análise do material: (1) Dimensão da cadeia de suprimentos; (2) Dimensão do processo de transferência de tecnologia; (3) Dimensão da sustentabilidade; e (4) Dimensão da TT na cadeia de suprimentos. Os trabalhos foram analisados minuciosamente nessas quatro categorias. Foi concluído que a Transferência de Tecnologia e a Cadeia de Suprimentos Verde estão interligadas de diferentes maneiras, que juntas podem funcionar melhor, e que essa relação realmente existe. Um dos aspectos principais dessa conexão é a inovação. Espera-se que essa pesquisa contribua como base para futuros estudos em cadeia de suprimentos verde e transferência de tecnologia.

Palavras-chave: Transferência de Tecnologia; Cadeia de Suprimentos Verde; Inovação; Revisão de Literatura.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial deve ser realizado tendo em mente a preocupação com o agravamento global do ambiente. Com as pressões para aumento de sustentabilidade, as indústrias precisam adotar estratégias para reduzir o impacto ambiental e melhorar os produtos, os serviços e o seu desempenho (ZHU et al., 2005). A gestão da cadeia de suprimentos verde (*Green Supply Chain Management* - GSCM) é um conceito notável para aumentar o desempenho ambiental e reduzir os seus impactos (SRIVASTAVA, 2007; KANNAN et al, 2008).

Uma cadeia de suprimentos incorpora um fluxo de atividades relacionadas que transformam produtos de matérias-primas em bens de consumo ao usuário final, juntamente com o fluxo de informações. O principal objetivo de GSCM é, portanto, monitorar programas comuns de gestão ambiental para garantir a sua adesão à práticas verdes, incluindo reciclagem, regeneração, remanufatura e logística reversa (JABBOUR et al., 2014).

Ao implementar as dimensões de “práticas verdes” em sua cadeia de suprimentos, as empresas percebem que nem todas são eficazes, pois as barreiras para o desenvolvimento dessas práticas são muitas, apesar dos benefícios gerados para a organização. (MUDULI et al., 2013)

A relação entre a implementação GSCM e o desempenho de uma empresa foi estudada por muitos pesquisadores. Mathiyazhagan et al. (2013) realizaram um estudo sobre o setor automotivo na Espanha, onde identificaram dois tipos de barreiras (interna e externa) que dificultam a implementação da logística reversa ambientalmente orientada. Zhu e Sarkis (2004) apontaram que empresas com práticas de GSCM como compras verde, auditoria ambiental para a gestão e a adesão à certificação ISO14001 demonstraram um melhor desempenho ambiental. Tseng et al. (2013) também concluíram que a gestão ambiental melhora o desempenho operacional global. Uma análise das principais empresas com ISO14001 no Sudeste da Ásia determinou que esverdeando as cadeias de suprimentos melhora tanto a competitividade como o desempenho econômico (RAO; HOLT, 2005).

Embora todos esses estudos confirmem a relação entre a implementação e o cumprimento operacional de GSCM, sendo ambiental ou econômico, estudos que examinam a relação entre a estratégia GSCM das empresas e a Transferência de Tecnologia (TT) ou mesmo inovação tecnológica permanecem escassos.

A capacidade de uma empresa inovar tecnologicamente depende muito da velocidade de desenvolvimento de um novo produto ou da adoção de recentes inovações tecnológicas nos

processos, onde tais características de inovação são fundamentais para a sobrevivência e sustentabilidade de uma empresa.

Muduli et al. (2013) confirmaram empiricamente que a inovação tecnológica de uma empresa pode melhorar o desempenho das práticas de GSCM. Para uma inovação de sucesso, é necessário pesquisa e desenvolvimento, conhecimento, materiais, entre outros. Ou seja, para que uma inovação ocorra, é necessário que exista transferência de tecnologia.

Por este motivo, o presente estudo tem como objetivo estudar a relação existente entre GSCM e Transferência de Tecnologia, que de maneira implícita, possuem uma direta ligação.

2. METODOLOGIA

Para atender o objetivo do estudo em questão, a metodologia escolhida para tal foi a revisão de literatura. Com base nos estudos de diferentes autores, foi analisado a relação existente entre GSCM e TT.

Para garantir a validade e a confiabilidade, a pesquisa foi baseada em um modelo de processo proposto por Mayring (2003) (que tem sido usado para pesquisas semelhantes; por exemplo, BESKE; LAND; SEURING, 2013; SEURING; MULLER, 2008 e SEURING, 2012), onde 3 etapas foram seguidas:

- 1) Coleta de materiais: O material a ser coletado é definido e delimitado.
- 2) Seleção de categorias: Dimensões estruturais e categorias analíticas relacionadas são selecionadas, que devem ser aplicadas ao material coletado. Dimensões estruturais constituem os principais temas de análise, que são constituídas por categorias analíticas individuais. Nesta etapa os artigos são separados conforme os critérios de seleção escolhidos.
- 3) Análise do material: O material é analisado e classificado de acordo com as dimensões estruturais e categorias construídas. Isso deve permitir a identificação de problemas e interpretação de resultados relevantes.

2.1. COLETA DE MATERIAIS

Para a condução desta pesquisa três grandes bases de dados eletrônicas foram escolhidas: *ISI Web of Knowledge (Web of Science)*, *Scopus* e *Google Scholar*. Essas bases foram escolhidas pelo fato de serem amplamente suportadas por ferramentas de *software* que permitem recuperar maior variedade

de dados de interesse da pesquisa, além de serem as que possuem uma maior variedade de bases indexadas a ela.

As palavras-chaves utilizadas em ambas as bases foram: “*Green Supply Chain*”; “*Sustainable Supply Chain*” e “*Technology Transfer*”, juntamente com “*model*”; “*framework*”; “*knowledge shar**”; “*knowledge transfer*”; “*innovation*”; “*sustainable*”; “*green*”; “*mechanisms*”; “*driver*” e “*barrier*”.

Nas bases de dados ISI e Scopus, foi delimitado que essas palavras-chaves deveriam aparecer no título, no resumo e nas palavras-chaves dos artigos. E no *Scholar* somente no título, e excluído a possibilidade de aparecerem patentes e citações, devido à grande quantidade de artigos. Para as três bases, foi determinado um período de 17 anos (2000-2016) para a busca dos artigos. Foi determinado que a busca seria a partir do ano 2000 pelo fato de que anterior a essa data não houve um número significativo de artigos para a pesquisa.

As tabelas 1, 2 e 3 apresentam respectivamente a quantidade de artigos encontrados para cada combinação das palavras-chaves na base de dados ISI, Scopus e no *Scholar*.

Tabela 1. Quantidade de artigos encontrados para cada combinação das palavras-chaves na base ISI
Web of Knowledge

PALAVRAS-CHAVES	<i>Green Supply Chain</i>	<i>Sustainable Supply Chain</i>	<i>Technology Transfer</i>	TOTAL
<i>Model</i>	59	17	83	159
<i>Framework</i>	7	12	11	30
<i>Knowledge shar*</i>	3	1	-	4
<i>Knowledge transfer</i>	3	0	-	3
<i>Innovation</i>	39	20	-	59
<i>Barrier</i>	23	13	61	97
<i>Sustainable</i>	-	-	61	61
<i>Green</i>	-	-	10	10
<i>Mechanisms</i>	-	-	129	129
<i>Driver</i>	-	-	22	22
<i>Supply Chain</i>	-	-	46	46
<i>Technology Transfer</i>	1	0	-	1
TOTAL	135	63	423	621

Fonte: Autoria própria

Tabela 2. Quantidade de artigos encontrados para cada combinação das palavras-chaves na base Scopus

PALAVRAS-CHAVES	<i>Green Supply Chain</i>	<i>Sustainable Supply Chain</i>	<i>Technology Transfer</i>	TOTAL
<i>Model</i>	21	7	62	90
<i>Framework</i>	9	12	12	33
<i>Knowledge shar*</i>	4	2	-	6
<i>Knowledge transfer</i>	0	1	-	1
<i>Innovation</i>	23	13	-	36
<i>Barrier</i>	24	5	57	86
<i>Sustainable</i>	-	-	58	58
<i>Green</i>	-	-	12	12
<i>Mechanisms</i>	-	-	117	117
<i>Driver</i>	-	-	20	20
<i>Supply Chain</i>	-	-	123	123
<i>Technology Transfer</i>	0	0	-	0
TOTAL	81	40	461	582

Fonte: Autoria própria

Tabela 3. Quantidade de artigos encontrados para cada combinação das palavras-chaves na base Google Scholar

PALAVRAS-CHAVES	<i>Green Supply Chain</i>	<i>Sustainable Supply Chain</i>	<i>Technology Transfer</i>	TOTAL
<i>Model</i>	43	12	290	345
<i>Framework</i>	18	28	96	142
<i>Knowledge shar*</i>	9	2	-	11
<i>Knowledge transfer</i>	2	0	-	2
<i>Innovation</i>	12	2	-	14
<i>Barrier</i>	2	0	2	4
<i>Sustainable</i>	-	-	109	109
<i>Green</i>	-	-	24	24
<i>Mechanisms</i>	-	-	42	42
<i>Driver</i>	-	-	3	3
<i>Supply Chain</i>	-	-	7	7
<i>Technology Transfer</i>	1	0	-	1
TOTAL	87	44	573	704

Fonte: Autoria própria

A quantidade total de artigos encontrados foi 1907. Todos esses foram exportados para o *software EndNote X7*, o qual tem por finalidade armazenar os dados dos artigos, a fim de facilitar na análise dos mesmos.

Após esse procedimento ser realizado, os artigos foram analisados através do *software* para a verificação de duplicidades. Esses artigos duplicados foram retirados do portfólio, constando 1094 trabalhos para a próxima etapa. Posteriormente, todos os trabalhos que pertenciam a congressos, simpósios, encontros, etc., foram excluídos, deixando apenas os artigos pertencentes aos periódicos, o que totalizou 773 artigos.

Para selecionar os artigos, os mesmos foram divididos em 8 grupos (tabela 4), conforme suas palavras-chaves utilizadas na busca, e foi feito o Índice Ordinato (*InOrdinatio*) de cada artigo, proposto na metodologia *Methodi Ordinatio* de Pagani, Kovaleski e Resende (2015). Este método foi escolhido pelo fato de que era preciso uma metodologia para ordenar quais os melhores artigos encontrados na bibliometria para a presente pesquisa ser relevante. Levando isso em consideração, foi determinado que os critérios mais importantes para a classificação dos artigos nesta pesquisa são: JCR do periódico, número de citações do artigo e se o artigo é recente ou antigo. Sendo assim, estes critérios foram encontrados na metodologia de Pagani, Kovaleski e Resende (2015).

Este método tem como objetivo selecionar os artigos de acordo com sua relevância científica, tendo em consideração os principais fatores a serem considerados em um artigo científico: o fator de impacto do periódico no qual o documento foi publicado, o número de citações e o ano de publicação, conforme Equação 01.

$$\text{InOrdinato} = (\text{IF}/1000) + \alpha * [10 - (\text{Research Year} - \text{Publish Year})] + (\Sigma Ci)$$

Onde: (equação 01)

IF = Fator de impacto;

α = grau de importância para o critério ano;

Research Year = ano no qual a pesquisa está sendo desenvolvida;

Publish Year = ano no qual o artigo foi publicado;

Ci = Número de citações do artigo.

Para o grau de importância do critério ano, foi atribuído o valor 6, por ser um critério importante, porém não primordial. Foram excluídos do portfólio os artigos em que o *InOrdinato* se apresentou

negativo, o que totalizou 594 artigos. Posteriormente todos esses trabalhos foram analisados através de seus títulos e resumos para ver sua relevância com a presente pesquisa, para finalmente esses artigos serem estudados.

Um total de 334 artigos foram selecionados para serem analisados e utilizados como “matéria-prima” na referida pesquisa.

2.2. SELEÇÃO DAS CATEGORIAS

Dimensões estruturais e categorias analíticas relacionadas, que permitam a classificação da literatura, podem ser derivadas dedutivamente ou indutivamente. Numa abordagem dedutiva, eles são selecionados antes do material ser analisado; quando se utiliza um método indutivo, eles são desenvolvidos a partir do material por meio de generalização (MAYRING, 2003). Em ambos os casos, eles devem ter uma relação clara com a teoria existente.

No presente estudo, ambas as abordagens foram utilizadas, prevalecendo a abordagem indutiva. O processo de seleção das categorias foi realizado através do estudo do material encontrado na revisão de literatura.

Após este estudo, foi realizada a seguinte seleção das categorias que serão utilizadas para a análise do material. Eles formam um conjunto básico das dimensões e categorias utilizadas.

1. *Dimensão da cadeia de suprimentos.* Como a cadeia de suprimentos é apresentada e estudada no artigo?

De acordo com Halldórsson e Arlbjörn (2005) três categorias foram definidas nesta dimensão: (1) o ator principal que é o foco do estudo; (2) o nível de análise organizacional, que vão desde funções internas para amplos focos macro-econômicos; (3) o processo de análise, tendo como base o modelo SCOR. Para cada uma dessas 3 categorias, foram definidas sub-categorias para serem analisadas nos artigos, sendo apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Categorias e sub-categorias definidas para a Dimensão da Cadeia de

CATEGORIAS	ATOR PRINCIPAL	NÍVEL DE ANÁLISE	PROCESSO DE ANÁLISE
SUB-CATEGORIAS	Transporte	Função	Planejar
	Fornecedor	Empresa	Abastecer
	Ind./macro-econ.	Dyad/(Relação dupla)	Produzir
	Autoridade legal	Cadeia	Entregar
	Fabricante/ Produtor	Network	Retornar
	Revendedor	Outros	Outros
	Armazenagem		
	Atacadista		
	Distribuição		
	Outros		

Fonte: Autoria própria

2. *Dimensão do processo de transferência de tecnologia.* Como se apresenta o processo de transferência de tecnologia?

Nesta dimensão três categorias foram definidas. A primeira encontra-se para os trabalhos onde uma transferência de tecnologia horizontal é apresentada. A segunda é para os trabalhos onde há uma transferência de tecnologia vertical. A terceira apresenta a maneira que ocorre a TT. Para esta última categoria, foram definidas as seguintes sub-categorias, de acordo com Cormican e O'Connor (2009):

- 1) Transferência de universidades e laboratórios de pesquisa para empresas industriais;
- 2) Transferência dentro de uma organização, desde a pesquisa até à comercialização;
- 3) Transferência de uma organização para outra;
- 4) Transferência entre países e/ou regiões;
- 5) Transferência através da venda de produtos que incorporam a tecnologia;
- 6) Transferência através de acordos contratuais, incluindo licenciamento, cooperação e partilha entre as empresas como parte de alianças estratégicas;
- 7) Transferência de ativos tangíveis, tais como novos produtos, instalações e equipamentos;
- 8) Transferir formas intangíveis por meio de mecanismos formais, tais como patentes e licenças;
- 9) Transferência informal através do conhecimento e os fluxos de informação.

3. *Dimensão da sustentabilidade.* Qual dimensão do desenvolvimento sustentável é apresentado no trabalho?

Três categorias foram definidas: (1) ambiental, (2) social ou (3) econômica. Um trabalho pode apresentar apenas uma dimensão, duas, ou as três.

4. *Dimensão da TT na cadeia de suprimentos.* Como é apresentada a relação entre Transferência de Tecnologia e Cadeia de Suprimentos?

Nesta dimensão uma única categoria foi definida, a qual refere-se a relação existente entre TT e SCM, como essa relação acontece.

Após a definição destas dimensões e categorias, os artigos foram enquadrados em cada uma delas. Com isso, foi possível realizar a terceira etapa da revisão de literatura, a Análise do Material.

3. RESULTADOS: ANÁLISE DO MATERIAL

Para realizar a quarta etapa da Revisão de Literatura, finalizando assim todas as etapas propostas por Mayring (2003), o material foi analisado e classificado de acordo com as dimensões estruturais e categorias construídas apresentadas na terceira etapa do processo de Revisão de Literatura.

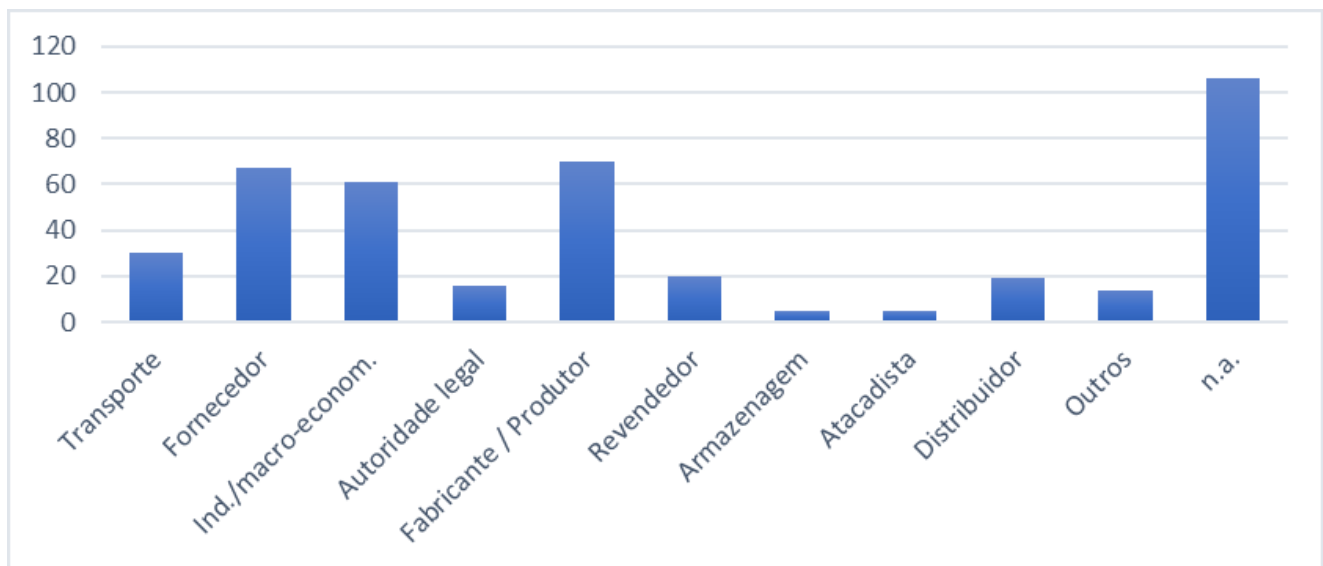
1. DIMENSÃO DA CADEIA DE SUPRIMENTOS.

Com relação a cadeia de suprimentos, após a análise dos 334 artigos, os mesmos foram divididos nas seguintes categorias: (1) O ator principal, que é o foco do estudo, (2) o nível de análise organizacional, que vão desde funções internas para as mais amplas redes industriais, e (3) o processo de análise, coberto pelo modelo SCOR.

A categoria de "ator principal da análise" indica que tipo de empresa a "empresa focal" está no estudo particular. Mais de um ator pode estar presente nessa categoria.

O gráfico da figura 1 apresenta o resultado obtido nesta categoria. Na maioria dos casos, os artigos não apontam uma "empresa focal" (lê-se n.a. – nenhuma das alternativas, com 106 artigos). A razão é de que grande parte da literatura ainda é de natureza conceitual e, portanto, fornece uma contextualização para um caso específico.

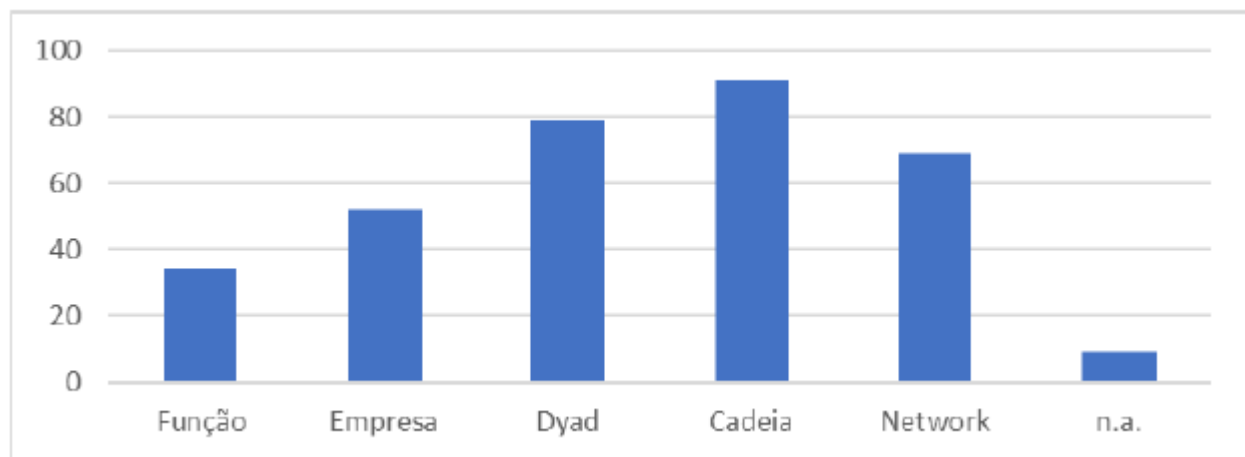
A visão geral parece ser que os *Fabricantes* (70 artigos) e os *Fornecedores* (67 artigos) são as empresas mais estudadas em SCM e, destes, a maioria são suportadas pela evidência empírica. A indústria em um contexto *Macro-econômico* também apresenta uma grande quantidade de estudos (61 artigos). Posteriormente aparece como ator principal o *Transporte* (30 artigos), e os demais aparecem todos com menos de 20 artigos.

Figura 1. Atores principais da análise

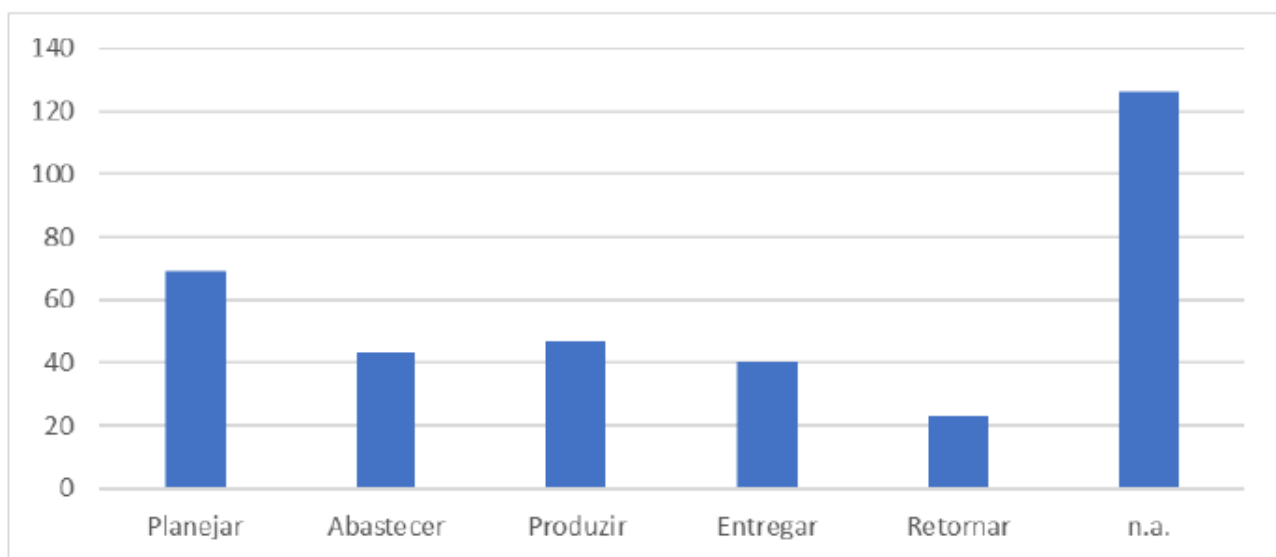
Fonte: Autoria própria.

Uma das principais diferenças entre logística e *supply chain management* é a capacidade deste último de penetrar nos silos funcionais da empresa particular e de envolver fornecedores e clientes na coordenação logística (LAMBERT; COOPER, 2000). A definição formal de uma cadeia de suprimentos está em conformidade com, pelo menos, três atores (MENTZER et al. 2001). Sendo assim, a presente pesquisa busca saber qual a extensão das cadeias de suprimentos estudadas, se realmente apresenta uma perspectiva se “*supply chain*”. Neste estudo, o nível de análise é visto em um sentido amplo, não só daqueles que incluem dados reais de compradores e fornecedores interligados, mas também daqueles que estudam uma empresa focal e sua interação com organizações externas, em última análise, os clientes e / ou fornecedores.

A figura 2 apresenta um gráfico que mostra o número de artigos referentes aos vários níveis de análise. A *Cadeia* apresenta-se como o nível mais comum de análise (91 artigos), seguindo apresenta-se o nível “*Dyad*” (79 artigos), que significa dupla, sendo o rótulo normalmente utilizado em estudos sobre as relações comprador / fornecedor. Logo em seguida aparecem os níveis *Network* (69 artigos), *Empresa* (52 artigos) e *Função* (34 artigos). Muitos dos estudos que tinham como foco principal a Transferência de Tecnologia, também apresentaram qual o nível de análise que o estudo se tratava. Por esse motivo, foi bem pequena a quantidade de trabalhos que não apresentou nenhum tipo de nível de análise (9 artigos).

Figura 2. Nível da análise**Fonte:** Autoria própria

Baseado no Modelo SCOR, que é um modelo de referência do processo que descreve as cadeias de suprimentos, cinco principais processos de análise são definidos. A figura 3 apresenta um gráfico da quantidade de artigos encontrados para cada processo. *Planejar* foi o processo mais encontrado nos estudos (69 artigos), *Produzir*, *Abastecer* e *Entregar* ficaram próximos uns dos outros, com 47, 43 e 40 artigos respectivamente. Por último encontrou-se *Retornar* (23 artigos), que tratam-se dos trabalhos que apresentam a logística reversa. Dentre todos os artigos, 126 trabalhos não enquadraram-se em nenhum dos processos de análise do Modelo SCOR.

Figura 3. Processo da análise**Fonte:** Autoria própria

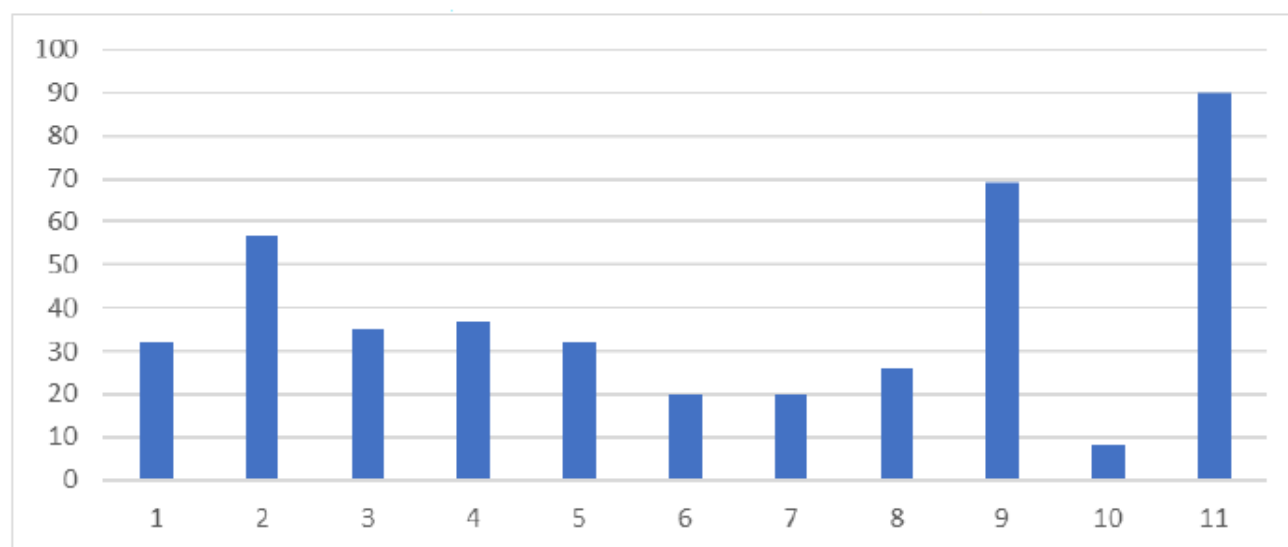
2. DIMENSÃO DO PROCESSO DE TRANSFERÊNCIA DE TECNOLOGIA.

A transferência de tecnologia é analisada e discutida em termos de mover a tecnologia de uma organização para a outra, seja ela em forma de conhecimento, tecnologia ou produtos. Dentre os artigos estudados, 188 trabalhos apresentaram uma transferência de tecnologia horizontal, que é a transferência de conhecimento tecnológico ou de inovação entre os projetos, organizações, indústrias e nações. É considerada como a transferência realizada a partir de uma localização geográfica para outra (OCKWELL *et al.*, 2008; PARK; LEE, 2011). Foram 77 trabalhos que apresentaram uma transferência de tecnologia vertical, que é a transferência de conhecimento tecnológico ou inovação, da pesquisa básica à avançada, desde a fase de P&D até a comercialização do produto (OCKWELL *et al.*, 2008; PARK; LEE, 2011).

Levando em consideração as diferentes formas com que pode ocorrer a transferência de tecnologia, a figura 4 apresenta a quantidade de artigos que apresentaram cada uma das diversas maneiras de TT.

Dentre todos os trabalhos, 90 artigos não apresentaram nenhuma forma de TT. A *Transferência informal através do conhecimento e os fluxos de informação* foi a mais apresentada, com 69 artigos. Em segundo lugar encontra-se a *Transferência dentro de uma organização, desde a pesquisa até a comercialização*, com 57 artigos. Esses dois primeiros modos de TT foram de longe os mais citados. Em seguida aparece a *Transferência entre países e/ou regiões* (37 artigos), a *Transferência de uma organização para outra* (35 artigos), a *Transferência através da venda de produtos que incorporam a tecnologia* (32 artigos) e a *Transferência de universidades e laboratórios de pesquisa para empresas industriais* (32 artigos).

Por último aparece *Transferir formas intangíveis por meio de mecanismos formais, tais como patentes e licenças* (26 artigos), a *Transferência através de acordos contratuais, incluindo licenciamento, cooperação e partilha entre empresas como parte de alianças estratégicas* (20 artigos) e a *Transferência de ativos tangíveis, tais como novos produtos, instalações e equipamentos* (20 artigos). Ainda tiveram dentre todos os artigos, 90 que não apresentaram nenhum modo de TT, isso pelo fato de muitos trabalhos serem apenas de GSCM, sem apresentar questões de TT. E ainda, 8 que apresentaram outro modo de TT, não incluído nesta lista.

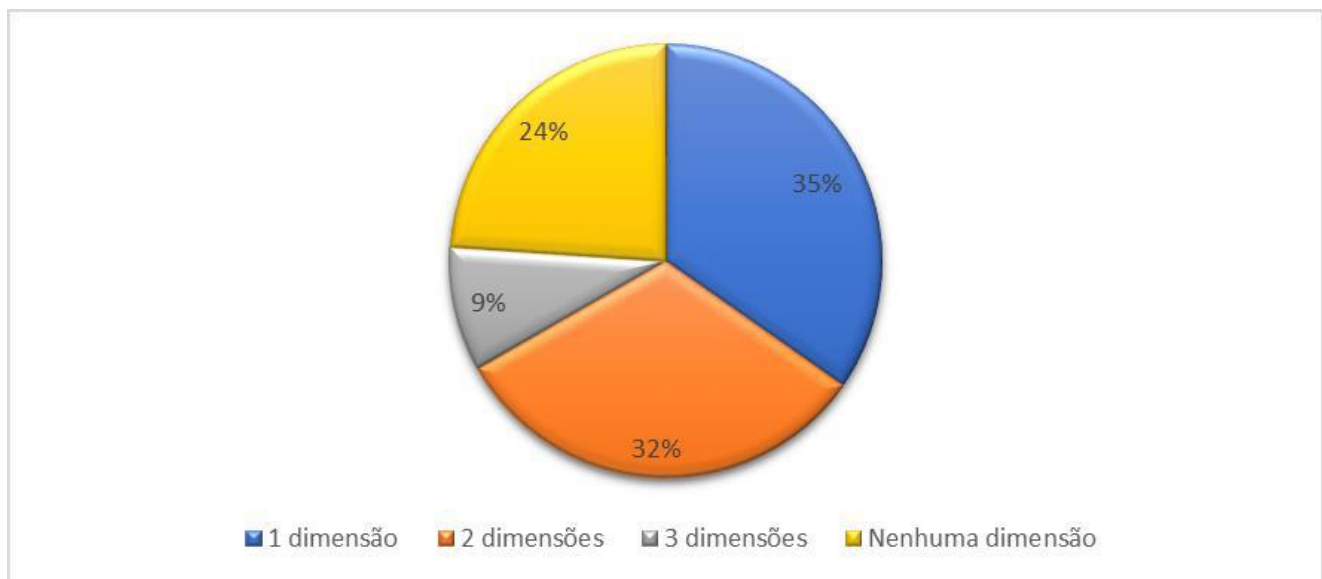
Figura 4. Modo de Transferência de Tecnologia

Fonte: Autoria própria

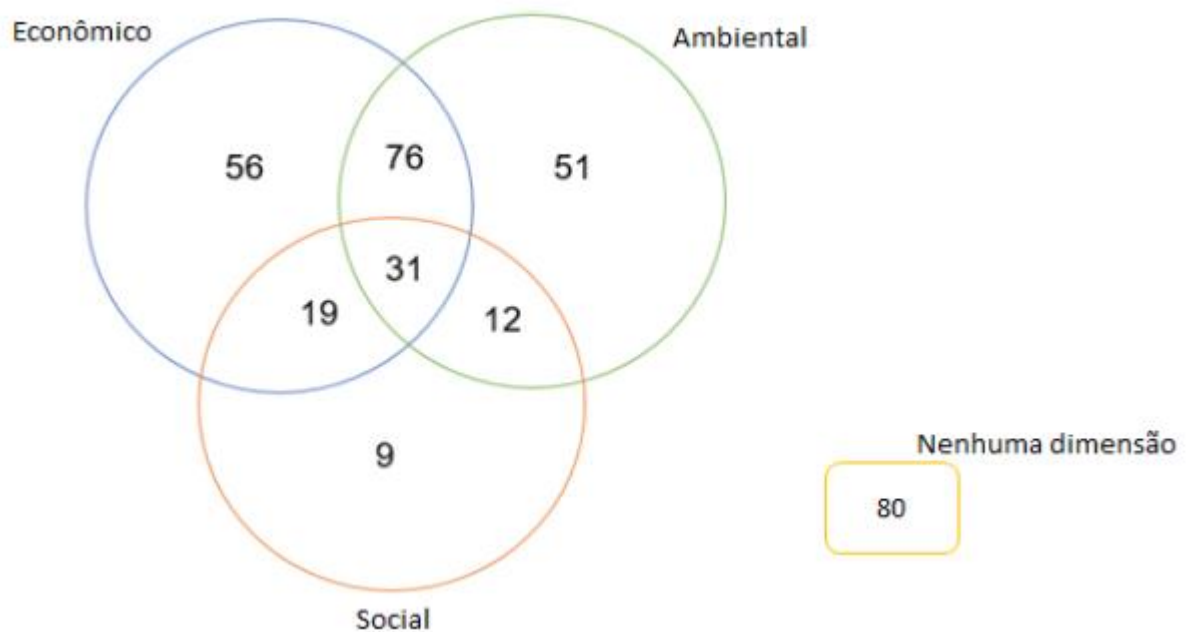
LEGENDA	
1	Transferência de universidades e laboratórios de pesquisa para empresas industriais;
2	Transferência dentro de uma organização, desde a pesquisa até à comercialização;
3	Transferência de uma organização para outra;
4	Transferência entre países e/ou regiões;
5	Transferência através da venda de produtos que incorporam a tecnologia;
6	Transferência através de acordos contratuais, incluindo licenciamento, cooperação e partilha entre as empresas como parte de alianças estratégicas;
7	Transferência de ativos tangíveis, tais como novos produtos, instalações e equipamentos;
8	Transferir formas intangíveis por meio de mecanismos formais, tais como patentes e licenças;
9	Transferência informal através do conhecimento e os fluxos de informação
10	Outros
11	n.a. (Nenhuma das alternativas)

3. DIMENSÃO DA SUSTENTABILIDADE.

Com relação ao desenvolvimento sustentável, nem todos os artigos apresentam as 3 dimensões do desenvolvimento sustentável (ambiental, social, econômico). Alguns deles tratam apenas sobre uma dimensão e outros sobre suas dimensões. Ainda há trabalhos que não apresentam nenhuma dimensão do desenvolvimento sustentável. O gráfico da figura 5 mostra o percentual encontrado para cada quantidade de dimensões apresentadas nos artigos.

Figura 5. Percentual das quantias de dimensões apresentadas nos artigos**Fonte:** Autoria própria

A figura 6 apresenta a quantidade de artigos que apresenta cada dimensão.

Figura 6. Quantidade de artigos que apresentam as dimensões Econômica, Social e Ambiental**Fonte:** Autoria própria

Tratando-se dos artigos que apresentam apenas uma dimensão, o fator econômico é o mais presente, vindo em seguida o fator ambiental e com muita diferença, o fator social, por último. Quando duas dimensões são apresentadas, as que mais se destacam são as dimensões ambientais e econômicas.

Esse fator ocorre devido a uma grande quantidade de artigos tratarem do fator *Green* (aspectos ambientais e econômicos) e não somente de Sustentabilidade (aspectos ambientais, econômicos e sociais). Em relação aos artigos que apresentam as três dimensões do desenvolvimento sustentável, 31 artigos foram encontrados e 80 artigos não apresentaram nenhuma das dimensões.

4. DIMENSÃO DA TT NA CADEIA DE SUPRIMENTOS.

A relação entre Transferência de Tecnologia e Cadeia de Suprimentos apresentada nos artigos, mostra-se principalmente como:

- Inovação na cadeia de suprimentos;
- Transferência de Conhecimento;
- Fluxo de informações;
- Apoio do governo;
- Sistemas de informação;
- Pesquisa e Desenvolvimento;
- Relação fornecedores-clientes;
- TT no ciclo de vida do produto;
- Transferência de informações e conhecimento entre países e regiões.

A inovação é o conceito-chave dessa união. Para uma eficaz cadeia de suprimentos verde, é necessário que haja inovação. As inovações são as idéias criativas que são geradas a partir de indivíduos ou equipes de funcionários; maiores inovações ocorrem com o apoio de pesquisa e desenvolvimento e também com a transferência de conhecimentos (MUDULI *et al.*, 2013).

Ainda foi possível perceber nesta análise, que 82% das relações empresariais apresentadas nos artigos apontam que esta relação é vantajosa para ambas as partes. 5% dos trabalhos apresentam que a relação é de forma competitiva e 13% não apresenta como é o comportamento da relação.

4. CONCLUSÕES

A partir da revisão de literatura foi possível identificar que a Transferência de Tecnologia, a Sustentabilidade e a Cadeia de Suprimentos estão interligadas, que juntas podem funcionar melhor.

A relação entre GSCM e TT realmente existe, e acontece de diferentes maneiras. A inovação é a maneira mais apresentada nos diversos artigos estudados, e apresenta-se como fundamental para que

uma cadeia de suprimentos verde seja implementada com sucesso em uma organização. As outras maneiras encontradas na literatura em que ocorrem essa relação são: Transferência de Conhecimento; Fluxo de informações; Apoio do governo; Sistemas de informação; Pesquisa e Desenvolvimento; Relação fornecedores-clientes; TT no ciclo de vida do produto; Transferência de informações e conhecimento entre países e regiões.

Com esse trabalho foi possível identificar quais os principais atores, nível e processo de análise que estão sendo trabalhados na literatura dentro de uma cadeia de suprimentos, os principais modos de Transferência de Tecnologia, as dimensões da Sustentabilidade, e por fim, como a TT está apresentada na literatura em GSCM.

Essa pesquisa abre oportunidades para futuros trabalhos. Sugere-se que a partir dos resultados encontrados nessa revisão, um modelo que apresente a relação de TT com GSCM seja elaborado e aplicado.

REFERÊNCIAS

- BESKE, Philip; LAND, Anna; SEURING, Stefan. Sustainable supply chain management practices and dynamic capabilities in the food industry: A critical analysis of the literature. *Int. J. Production Economics*. p. 131-143. dez. 2013.
- HALLDÓRSSON, Árni; ARLBJØRN, Jan Stentoft. Research Methodologies in Supply Chain Management—What Do We Know?. In: *Research methodologies in supply chain management*. Physica-Verlag HD, 2005. p. 107-122.
- JABBOUR, A. B.; JABBOUR, C.; GOVINDAN, K.; KANNAN, D.; ARANTES, A. F. Mixed methodology to analyze the relationship between maturity of environmental management and the adoption of green supply chain management in Brazil. *Resources, Conservation and Recycling*, n. 0, 2014.
- KANNAN, G.; HAQ, A. N.; SASIKUMAR, P.; ARUNACHALAM, S. Analysis and selection of green suppliers using interpretative structural modeling and analytic hierarchy process. *International Journal of Management and Decision Making*. v.9, n. 2, p. 163–182. 2008.
- LAMBERT, D.M.; COOPER, M.C. Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, v. 29, n. 1, p. 65-83, 2000.
- MATHIYAZHAGAN, K.; GOVINDAN, K.; NOORULHAQ, A.; GENG, Y. An ISM approach for the barrier analysis in implementing green supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, v. 47, n. 0, p. 283-297, maio 2013.
- MAYRING, P. *Qualitative Inhaltanalyse – Grundlagen und Techniken (Qualitative Content Analysis – Basics and Techniques)*. Weinheim, Beltz, Verlag. 2003.
- MENTZER, J.T., DEWITT, W., KEEBLER, J. S., MIN, S. Defining Supply Chain Management. *Journal of Business Logistics*, v. 22, n. 2, p. 1-25, 2001.
- MUDULI, K.; GOVINDAN, K.; BARVE, A.; GENG, Y. Role of behavioural factors in green supply chain management implementation in Indian mining industries. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 76, n. 0, p. 50-60, jul 2013.
- OCKWELL, David G. et al. Key policy considerations for facilitating low carbon technology transfer to developing countries. *Energy Policy*, v. 36. Brighton, p. 4104-4115, 2008.
- PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; RESENDE, Luis Mauricio. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*, p. 1-27. 2015.
- PARK, S.-H.; LEE, Y.-G. Perspectives on Technology Transfer Strategies of Korean Companies in Point of Resource and Capability Based View. *Journal of technology management & innovation*, v. 6, p. 161-184, 2011.
- RAO, P.; HOLT, D. Do green supply chains lead to competitiveness and economic performance? *International Journal of Operations and Production Management* v. 25, n. 9, p. 898–916. 2005.

SEURING, Stefan. A review of modeling approaches for sustainable supply chain management. *Decision Support Systems*, v. 54, n. 4, p. 1513-1520. jun. 2012.

SEURING, Stefan; MULLER, Martin. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, v. 16, n. 15 p. 1699-1710. jun. 2008.

SRIVASTAVA, K. S. Green supply-chain management: a state-of-the-art literature review. *International Journal of Management Reviews*. v. 9, n. 1, p. 53–80. 2007.

TSENG, M.-L.; WANG, R.; CHIU, A.; GENG, Y.; LIN, Y. H. Improving performance of green innovation practices under uncertainty. *Journal of Cleaner Production*, v. 40, p. 71-82, 2013.

ZHU, Q.; SARKIS, J. Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises. *Journal of Operations Management*, v. 22, n. 3, p. 265-289, jun. 2004.

ZHU, Qinghua; SARKIS, Joseph; GENG, Yong. Green supply chain management in China: pressures, practices and performance. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 25, n. 5, p. 449 – 468. 2005

Capítulo 8



10.37423/230307377

DESINFECÇÃO DE EFLUENTE SANITÁRIO: APLICAÇÃO DE RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA EM EFLUENTE DE UMA EMPRESA NO MUNICÍPIO DE IPATINGA/MG.

AMANDA DUQUE CARVALHO MARTINS

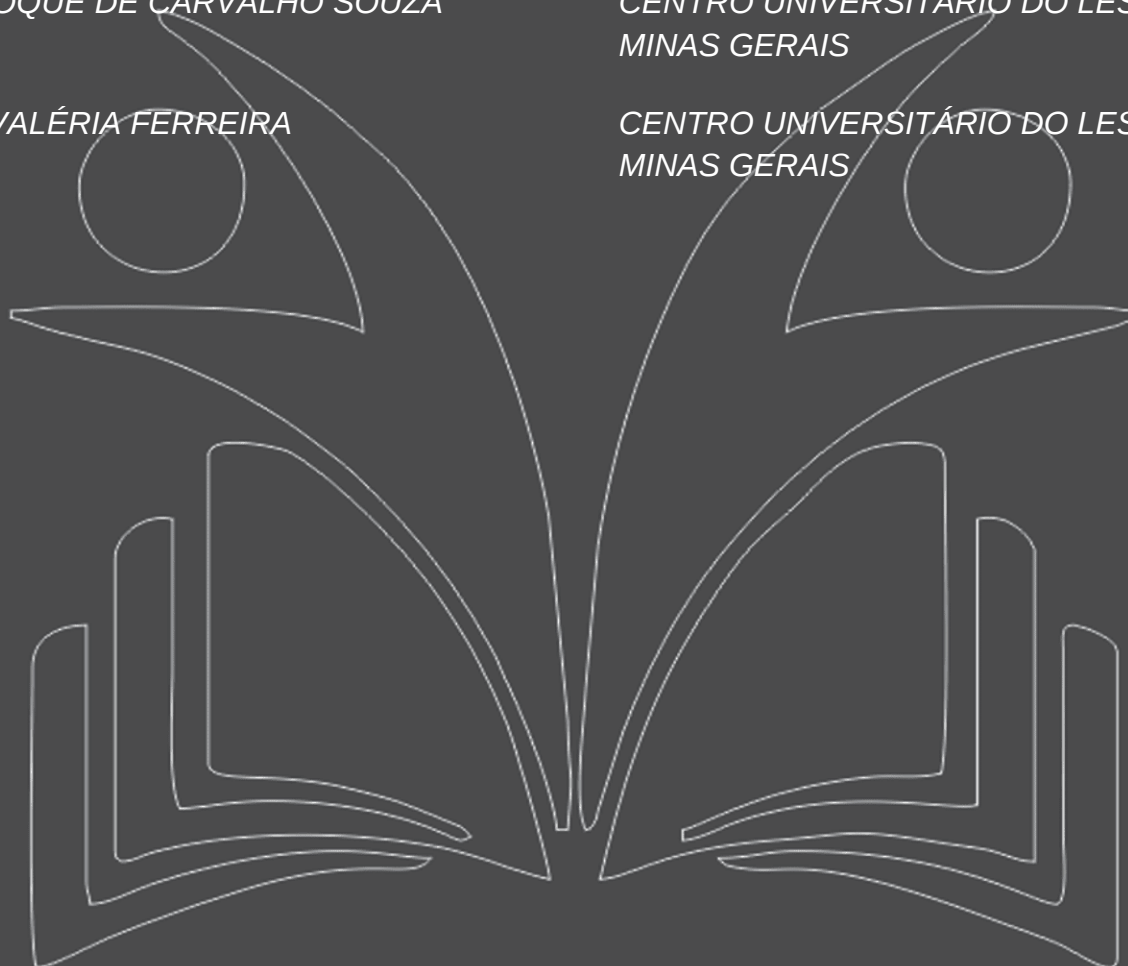
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO LESTE DE
MINAS GERAIS

LETÍCIA ROQUE DE CARVALHO SOUZA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO LESTE DE
MINAS GERAIS

POLIANE VALÉRIA FERREIRA

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO LESTE DE
MINAS GERAIS



Resumo: O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência da desinfecção através da aplicação de radiação ultravioleta (UV) para remoção de *Escherichia coli* (E. coli) em um efluente sanitário proveniente de um sistema de tratamento secundário de lodos ativados com aeração prolongada em uma estação de tratamento de efluente (ETE) de uma empresa localizada no município de Ipatinga/MG. O procedimento experimental constituiu-se de diferentes etapas, sendo elas a construção de aparatos experimentais, a avaliação da sedimentabilidade do efluente, a determinação da sedimentação em escala piloto através de coluna de sedimentação, a medição da vazão na ETE, a checagem do dimensionamento do decantador, a aplicação da radiação UV em escala piloto e sua respectiva análise estatística. Para tratamento dos dados, foi utilizado o software Statistica 7, através da análise de variância (ANOVA). A partir da análise da sedimentação, identificou-se a necessidade de intervenção no processo de decantação para se obter valores que atendam a faixa desejável de sólidos suspensos (SS), entre 10 e 40mg/L, a fim de maximizar a eficiência no processo de desinfecção por radiação UV. Os ensaios de desinfecção foram satisfatórios para garantir a remoção de E. coli em até dois log de inativação, alcançando os padrões de qualidade consoantes ao enquadramento do corpo receptor. Dentre os tempos de exposição testados, o tempo de 120s apresentou-se como o mais vantajoso para concepção de um reator.

Palavras-chave: Tratamento de efluente. Sedimentação. Desinfecção. Radiação UV. *E. coli*.

1 INTRODUÇÃO

A sociedade tecnológica atual, fruto do desenvolvimento acelerado e demanda de recursos, possui a difícil missão de gerir as emissões secundárias dos seus processos. Dentre essas emissões, as chamadas águas residuárias podem ser definidas como a combinação de efluentes líquidos e rejeitos arrastados pela água proveniente de residências, instituições, estabelecimentos comerciais e industriais e da contribuição de águas subterrâneas, superficiais e de drenagem pluvial. Geralmente são classificados em dois grandes grupos: os efluentes sanitários e os industriais. Os efluentes sanitários provêm principalmente de edificações que contenham instalações para uso doméstico, tais como banheiros e cozinhas, sendo composto de água de banho, urina, fezes, papel, resto de comida, sabão, detergentes, água de lavagem, dentre outros (JORDÃO; PESSÔA, 2009; METCALF; EDDIE, 2004; SPERLING, 2005).

O volume de efluente sanitário é constituído de expressiva carga de organismos patogênicos e mesmo havendo processos de tratamento primário e secundário, os riscos de contaminação dos corpos receptores são reais, uma vez que não removem a concentração dos microorganismos suficiente para garantir o padrão de qualidade dos corpos d'água receptores. Essa deficiência da barreira sanitária influencia nos indicadores de saúde pública e suscita a necessidade da etapa de desinfecção dos efluentes (GONÇALVES, 2003).

O desenvolvimento de sistemas de tratamento de efluentes sanitários não objetiva somente o cumprimento de padrões de lançamento pré-estabelecidos na legislação vigente, mas é um processo de melhoria contínua visando sanar os impactos ambientais por interferência antrópica e garantir a manutenção da saúde pública, sustentado em aspectos econômicos, políticos e sociais. Nesse contexto, o presente trabalho avaliou a eficiência da desinfecção de um efluente sanitário, pós tratamento secundário, em uma empresa no município de Ipatinga/MG, através da aplicação de radiação ultravioleta.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Avaliar a aplicação de radiação ultravioleta (UV) para remoção de coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) em estação de tratamento de esgoto (ETE) que opera por lodos ativados com aeração prolongada.

2.2 ESPECÍFICOS

1. Avaliar o desempenho da ETE operante em termos de remoção de sólidos suspensos (SS).
2. Avaliar a necessidade de dimensionar um decantador complementar para planta operante, visando reduzir a concentração de SS e consequentemente viabilizar a desinfecção por radiação UV.
3. Avaliar a eficiência da desinfecção por radiação UV para remoção de *Escherichia coli* (*E.coli*).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE ESGOTO SANITÁRIO

A palavra esgoto tem sua origem etimológica no Latim EX-, “para fora”, e GUTTA, “gota”, sugerindo ideia de líquido que escorre (ORIGEM, 2014 online). Esse termo foi comumente utilizado na definição tanto do sistema de captação e condução, quanto do líquido que flui através dessas canalizações, sendo hoje principalmente para o segundo fim (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Segundo a NBR 9648 da ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1986, p. 1), em sua, esgoto sanitário é o “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária”.

Para Sperling (2005) o esgoto constitui-se aproximadamente em 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como os microrganismos. Portanto devido a essa fração de 0,1%, que há necessidade de se tratar o esgoto.

3.2 PARÂMETROS DE QUALIDADE

O esgoto é caracterizado através de parâmetros que definem a sua qualidade, variando conforme sua origem e contribuintes. Do mesmo modo que as características do esgoto são divididas em três grupos: Físicos, Químicos e Biológicos, os parâmetros seguem a mesma sistemática.

Jordão e Pessôa (2009, p. 19) afirmam que para o tratamento de efluentes sanitários “os parâmetros de qualidade e interesse são aqueles relacionados às exigências legais, e às necessidades para projeto, operação, e avaliação de desempenho das ETEs”. Destacam-se os parâmetros a seguir.

3.2.1 SÓLIDOS TOTAIS

A fração sólida presente no esgoto sanitário é a mais importante dentre todas as características físicas em termos de dimensionamento e operação das unidades de tratamento, pois uma série de operações

unitárias de tratamento ocorre em função da presença destes (JORDÃO; PESSÔA, 2009; METCALF; EDDIE, 2004).

Podem ser classificados, segundo Sperling (2005), conforme tamanho e estado, características químicas e sedimentabilidade.

3.2.1.1 TAMANHO E ESTADO: SÓLIDOS EM SUSPENSÃO E SÓLIDOS DISSOLVIDOS.

Os sólidos presentes no efluente, quanto ao seu tamanho e estado, são classificados em sólidos em suspensão (particulados) ou sólidos dissolvidos (solúveis). Para tal, passa-se a amostra por uma membrana filtrante com porosidade padronizada de 2.0 μm . O material que fica retido é considerado em suspensão, e o material presente no filtrado é definido como dissolvido (STANDARD METHODS, 1998 apud METCALF; EDDIE, 2004; SPERLING, 2005).

3.2.1.2 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS: SÓLIDOS VOLÁTEIS E SÓLIDOS FIXOS.

Quanto às características químicas, a matéria sólida presente no efluente é classificada em sólidos voláteis, considerado matéria orgânica e sólidos fixos que representa a matéria inorgânica ou mineral. Para tal, submete-se a amostra a uma temperatura de $500^{\circ}\text{C} \pm 50^{\circ}\text{C}$, sendo a matéria volatilizada nessas condições considerada a fração orgânica e definida como sólidos voláteis. O material residual pós-combustão, na forma de cinzas, é definido como sólidos fixos e compreende a matéria inorgânica ou mineral do amostrado (JORDÃO; PESSÔA, 2009; STANDARD METHODS, 1998 apud METCALF; EDDIE, 2004; SPERLING, 2005).

3.2.1.3 SEDIMENTABILIDADE: SÓLIDOS SEDIMENTÁVEIS E SÓLIDOS NÃO SEDIMENTÁVEIS.

Para efeitos de controle e operação de sedimentação, a matéria sólida é classificada em sólidos sedimentáveis e sólidos não sedimentáveis, conforme o teste de sedimentabilidade realizado no cone *Imhoff*. Através do teste, a fração sedimentada no período de uma hora constitui os chamados sólidos sedimentáveis (JORDÃO; PESSÔA, 2009; STANDARD METHODS, 1998 apud METCALF; EDDIE, 2004; SPERLING, 2005). Em ambos os casos, os resultados são descritos em unidade de mg/L.

3.2.2 MICROGANISMOS

Entre os principais organismos encontrados no efluente sanitário estão bactérias, fungos, algas, protozoários e vírus (Quadro 1), onde aqueles capazes de causar doenças ao homem, chamados patógenos, possuem singular importância. Nesse contexto, um grupo específico de bactérias é

utilizado como parâmetros de monitoramento dos organismos patogênicos, sendo ele os coliformes termotolerantes.

Quadro 1 – Principais microrganismos e as respectivas doenças

Organismo	Doença Principal
Bactérias <i>Salmonellatyphi</i> <i>Salmonellaparatyphi</i> <i>Shigella</i> <i>Vibriocholerae</i> <i>E coli</i> <i>Yersinia enterocolitica</i> <i>Campylobacterjejuni</i>	Febre tifóide Febre paratifoide Desinteriabaciliar Cólera Gastroenterite Gastroenterite Gastroenterite
Enterovírus <i>Vírus da pólio</i> <i>Vírus da hepatite A</i> <i>Enterovirus (vários)</i>	Poliomielite Hepatite infecciosa Meningite, encefalite
Protozoários <i>Balantidium coli</i> <i>Entamoebahistolytica</i> <i>Giardia lamblia</i>	Desintéria Desintéria amebiana Giardíase
Helmintos <i>Nematóides</i> <i>Ascaris lumbricóides</i> <i>Trichuristrichiara</i> <i>Ancilostomaduodenale</i>	Ascariíase Tricuriase Ancilostomíase

Fonte: Jordão e Pessoa (2009) apud NASCIMENTO, 2010.

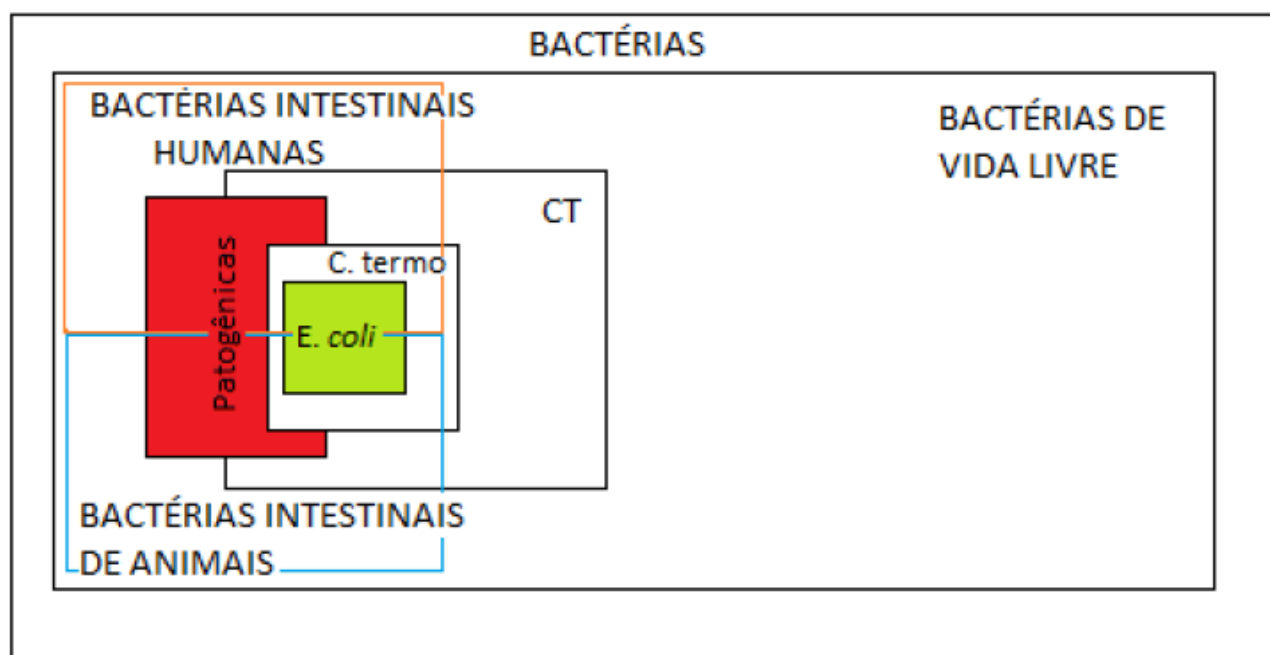
Segundo Jordão e Pessoa (2009, p. 67):

Essas bactérias são típicas do intestino do homem e de outros animais de sangue quente (mamíferos em geral), e justamente por estarem sempre presentes no excremento humano em elevada quantidade (100 bilhões de coliformes totais/hab.dia, por exemplo) devem ser de fácil isolamento e simples quantificação, para serem adotadas como referencia para indicar e medir a grandeza da poluição.

Tais organismos são predominantemente não patogênicos (Figura 1), mas dão satisfatória indicação da possível contaminação da água por fezes humanas ou de animais (SPERLING, 2005).

A *E. coli* é o organismo predominante no grupo de coliformes termotolerantes em efluentes sanitários, podendo ser encontrada em fezes de humanos e de outros animais. É a única que garante que a contaminação é exclusivamente fecal, diferentemente dos coliformes totais e fecais, e por isso há uma tendência em se utilizar esse parâmetro como indicador de contaminação. Há algumas espécies de *E. coli* que são patogênicas, mas isto não invalida seu conceito como bactérias indicadores de contaminação fecal (SPERLING, 2005). Os resultados são expressos em Número Mais Provável em cada 100mL da amostra (NMP/100mL).

Figura 1 – Grupo de bactérias



Fonte: Adaptado de Sperling, 2005.

3.3 REQUISITOS LEGAIS

Segundo a Resolução 357/2005 do CONAMA, a condição da qualidade da água é apresentada por um segmento de corpo d'água, num determinado momento, em termos dos usos possíveis com segurança adequada, frente às Classes de Qualidade, que podem ser para água doce, para: Classe Especial, Classe 01, Classe 02, Classe 03 e Classe 04. Para assegurar essa qualidade algumas condições e padrões de emissão são adotados visando o controle de lançamento de efluentes no corpo receptor (CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 2005).

No estado de Minas Gerais a DN Conjunta do COPAM/CERH nº 01/2008 estabelece os padrões para lançamento de efluentes líquidos nos cursos d'água, sendo os principais padrões para classe II

descritos no Quadro 2 (CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2008).

Quadro 2 – Padrões de Lançamento dos efluentes em corpos receptores

Parâmetro	Unidade	Padrão de Lançamento
pH	-	6,0 a 9,0
Temperatura	°C	< 40
DBO	mg/L	< 60
DQO	mg/L	< 180
Sólidos em Suspensão Totais	mg/L	< 100
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	< 1
Óleos e Graxas Minerais	mg/L	< 20
Óleos e Graxas Vegetais e Gorduras Animais	mg/L	< 50
Materiais Flutuantes	-	Ausente
Substâncias Tensioativas	mg/L	< 2,0

Fonte: Adaptado de DN Conjunta COPAM/CERH nº01, 2008.

No que diz respeito aos padrões microbiológicos, a definição de parâmetros ocorre em função do uso da água e da classe em qual o corpo d'água encontra-se enquadrado. O Quadro 3 apresenta os padrões para o parâmetro Coliformes Termotolerantes.

Quadro 3 – Padrão de qualidade microbiológica

Parâmetro	Padrão do Corpo d'água			
	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Coliformes Totais	1000	5000	2000	-
Coliformes Termotolerantes	200	1000	4000	-

Fonte: Adaptado de Chernicharo et al., 2001.

Ainda de acordo com a DN Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008, a *E. coli* pode ser determinada em substituição ao parâmetro coliformes termotolerantes desde que se observe os mesmos limites

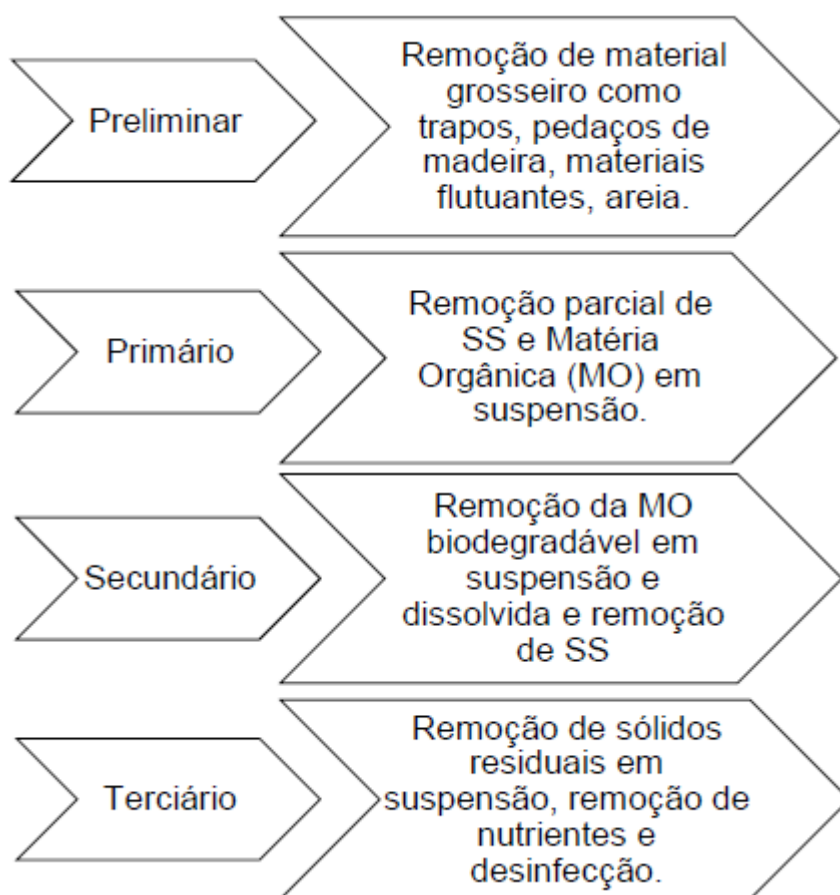
(CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2008).

3.4 NÍVEIS DE TRATAMENTO

O nível de tratamento de efluentes sanitários é definido conforme os tipos de poluentes a serem removidos, visando adequar o lançamento a uma qualidade ambiental desejada ou a um padrão de qualidade do corpo d'água receptor (CRESPO, 2003; SPERLING, 2005).

Diversos níveis de tratamento são, portanto caracterizados pelos métodos empregados para a remoção de contaminantes (Figura 2). Métodos que utilizam essencialmente grandezas físicas são denominados operações unitárias e aqueles que envolvem reações químicas ou biológicas são conhecidos por processos unitários. Operações e processos unitários agrupados são então classificados em Tratamento Preliminar, Primário, Secundário e Terciário. Em alguns casos podem-se empregar técnicas avançadas para remoção de contaminantes específicos (METCALF; EDDIE, 2004).

A escolha mais adequada dos níveis de tratamento a serem empregados deve levar em consideração a área, o grau de eficiência de tratabilidade esperado e os recursos financeiros disponíveis (SPERLING, 2005).

Figura 2 – Níveis de tratamento

Fonte: Adaptado de Metcalf e Eddie, 2004.

3.4.1 TRATAMENTO PRELIMINAR

O esgoto bruto coletado contém, além dos constituintes usuais, material arrastado pela chuva ou proveniente de contribuições clandestinas, em diferentes dimensões, que podem danificar as instalações e equipamentos subsequentes do processo, reduzir a eficiência e contaminar os condutos (METCALF; EDDIE, 2004).

Nesse contexto o tratamento preliminar, através de mecanismos de remoção estritamente de ordem física, tem o objetivo de separar os sólidos grosseiros presentes no efluente, através de gradeamento, e a areia, através de desarenadores. Essa etapa de tratamento deve estar presente em todas as estações de tratamento de esgotos sanitários, incluindo-se usualmente uma unidade medidora de vazão, denominada Calha Parshall (SPERLING, 2005).

3.4.2 TRATAMENTO PRIMÁRIO

O tratamento primário visa remoção de sólidos sedimentáveis e sólidos flutuantes, utilizando também mecanismos físicos simples, como a sedimentação, implicando na redução da carga de DBO dirigida ao tratamento secundário. A eficiência de remoção de sólidos varia em torno de 60 a 70% e da DBO de 25 a 35% (SPERLING, 2005).

Em alguns casos, uma etapa de tratamento primário avançado pode ser acrescida ao esquema de tratamento, onde químicos são aplicados para otimizar a remoção de SS e em menor escala, remover sólidos dissolvidos (METCALF; EDDIE, 2004).

3.4.2.1 PRINCÍPIOS DE SEDIMENTAÇÃO

A sedimentação é caracterizada por ser uma operação física onde há a separação das partículas sólidas de maior densidade do que a do líquido em que se encontra inseridas (SPERLING, 1996).

No tratamento de efluentes sanitários têm-se quatro tipos de sedimentação reconhecidos, sendo estes determinados pela natureza e concentração de SS. São eles: Sedimentação Discreta, Sedimentação Floculenta, Sedimentação Zonal e Sedimentação por Compressão. Tais tipos podem ocorrer isolados, associados ou simultaneamente, em diversas aplicações conforme Quadro 4 (JORDÃO; PESSÔA, 2009; SPERLING, 1996).

Quadro 4 – Principais tipos e aplicações da sedimentação no tratamento de efluentes sanitários

Tipos de Tratamento	Tipos de Sedimentação	Aplicação
Tratamento Preliminar	Discreta	Remoção de areia
Tratamento Primário	Floculenta	Remoção de SS
Tratamento Secundário	Zonal	Remoção dos sólidos biológicos
Tratamento do Lodo	Compressão	Adensamento de lodo

Fonte: Adaptado de Sperling, 1996.

Na sedimentação discreta as partículas não perdem sua identidade, conservando assim suas propriedades físicas (forma, tamanho e densidade). Já na sedimentação floculenta, à medida que o fenômeno ocorre, as partículas vão se aglomerando e com o aumento do tamanho, proveniente da formação de flocos, e da velocidade de sedimentação, as características das partículas são alteradas. No caso da sedimentação zonal, observa-se a formação da interface entre líquido e sólido, onde a

parte sólida sedimenta-se como uma massa única de partículas e como resultado o nível da interface se move para baixo. Em casos onde a concentração de sólidos é ainda mais elevada, ocorre compressão devido ao peso resultante da sedimentação das partículas presentes no líquido sobrenadante, reduzindo assim o volume do lodo (SPERLING, 1996).

3.4.3 TRATAMENTO SECUNDÁRIO

Diferentemente do tratamento preliminar e do tratamento primário, nesse nível de tratamento predominam os mecanismos biológicos, onde a matéria orgânica é removida através de reações bioquímicas, por microrganismos. Todo o processo se baseia no contato entre esses microrganismos e a matéria orgânica, de tal modo que essa sirva de alimento para os microrganismos e esses a convertam em gás carbônico, água e material celular para crescimento e reprodução (SPERLING, 2005).

Os principais métodos de tratamento a nível secundário são as lagoas de estabilização, os processos de disposição no solo, os reatores anaeróbios, os reatores aeróbios com biofilme e os lodos ativados e variantes. Esses métodos podem ser divididos em duas categorias principais, vinculados ao processo de crescimento dos microrganismos: crescimento suspenso e crescimento em substrato (METCALF; EDDIE, 2004; SPERLING, 2005).

Os processos de crescimento em substrato são aqueles em que os microrganismos capazes de degradar a matéria orgânica estão fixados em um substrato inerte, que pode ser composto por pedras, cascalho, escória, areia e uma variedade de materiais plásticos ou sintéticos. Filtros percoladores em condições aeróbias ou anóxicas são exemplos dessa tecnologia (METCALF; EDDIE, 2004).

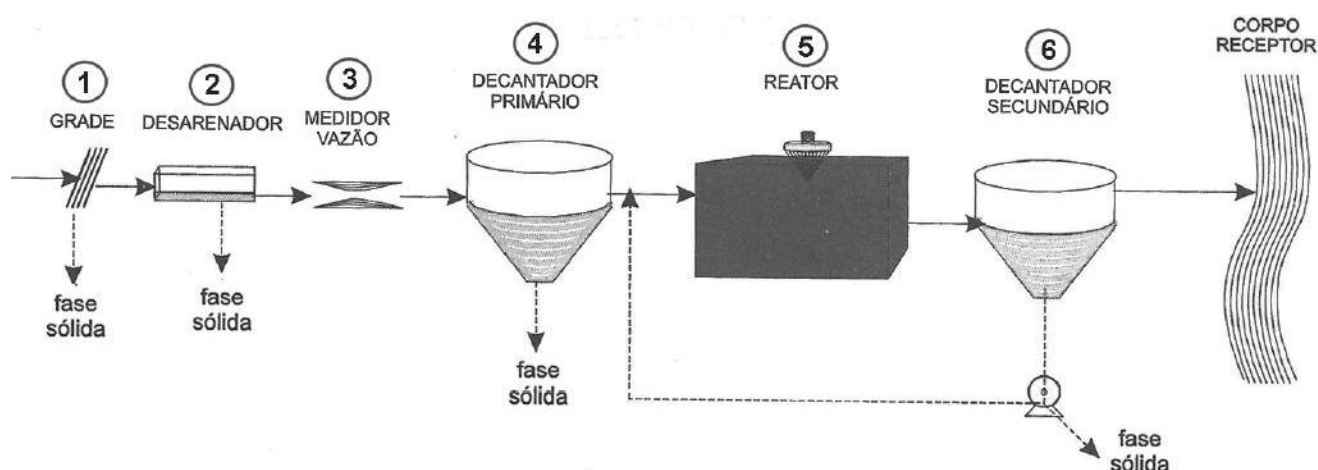
Nos processos de crescimento suspenso os microrganismos são mantidos em suspensão no efluente através de mecanismos apropriados de mistura, geralmente em condições aeróbias. Em alguns casos, reatores em condições anaeróbicas podem ser usados para degradar altas cargas orgânicas. Segundo Metcalf e Eddie (2004) o processo de crescimento suspenso mais comumente aplicado para tratamento de efluente sanitário são os chamados lodos ativados, que recebem esse nome por envolver a produção de uma massa ativa de microrganismos capazes de estabilizar o efluente em condições aeróbias.

Para garantir a presença de oxigênio dissolvido no processo, um aparato mecânico é instalado no tanque de aeração, onde o efluente a ser tratado entra em contato com os microrganismos em suspensão, sendo a seguir encaminhado para um decantador. Uma parcela do lodo decantado é

reinserida no tanque de aeração e parte é descartada conforme a produção excessiva de biomassa do sistema.

O processo de lodos ativados é constituído basicamente por três componentes: um reator onde o lodo é aerado e mantido em suspensão, um tanque para sedimentação e um sistema de recirculação de lodo. A maior parte das plantas de lodos ativados recebe o efluente pós-tratamento primário (Figura 3).

Figura 3 – Esquema de tratamento secundário por lodos ativados



Fonte: Sperling, 2005.

Em alguns casos, como o tratamento de pequenas vazões ou em áreas onde problemas de odor podem ser significantes no decantador prévio, o tratamento primário pode ser omitido, configurando um sistema compacto (METCALF; EDDIE, 2004). Para esses casos de tratamento compacto, os lodos ativados de aeração prolongada são uma alternativa tecnológica.

Diferentemente dos sistemas tradicionais de lodos ativados, na aeração prolongada, usualmente, não há decantadores primários, sendo a estabilização do lodo realizada em conjunto com o próprio reator (SPERLING, 2005).

Segundo Metcalf e Eddie (2004), uma unidade de lodos ativados por aeração prolongada requer uma baixa carga orgânica e um processo de longa aeração. A eficiência de qualquer variável nesse tipo de tratamento está associada ao desempenho do decantador secundário (SPERLING, 2005).

A eficiência de remoção de alguns parâmetros nesse tipo de tratamento pode ser vista no Quadro 5.

Quadro 5 – Eficiência de remoção no processo de tratamento por lodos ativados por aeração prolongada

Parâmetros	Eficiência da remoção
DBO (%)	93-98
DQO (%)	90-95
Sólidos em Suspensão (%)	85-95
Coliformes (%)	70-95

Fonte: Adaptado de Sperling, 2005.

3.4.4 TRATAMENTO TERCIÁRIO

A implantação do tratamento terciário está condicionada a diversos fatores, dentre eles a eficiência de remoção de um contaminante específico e uma qualidade ambiental elevada para o efluente, sendo um caso omissos e, portanto não usual em ETEs brasileiras. Esse nível de tratamento tem por objetivo a remoção dos poluentes que não foram eficientemente removidos no tratamento secundário, tais como nutrientes, como o nitrogênio e fósforo, metais pesados, bactérias, organismos patogênicos, entre outros.

Metcalf e Eddie (2004) exemplifica como necessária a implantação de sistemas de tratamento terciário, em situações com exigência de remoção de matéria orgânica e SS em níveis avançados para atingir padrões de lançamento mais restritivos ou para propiciar condições para reúso, com a necessidade de remoção de nutrientes em efluentes lançados em corpos receptores em níveis sensíveis de eutrofização, com necessidade de eliminação dos organismos patogênicos em corpos receptores, dentre outros.

Apesar de não ser amplamente difundida no cenário brasileiro, o interesse pela desinfecção é crescente, frente à também crescente deteriorização das fontes de abastecimento humano, bem como a preocupação em proteger o corpo receptor para garantir os usos múltiplos, tais como

recreação ou para fontes de irrigação agrícola. É notavelmente reconhecido o papel da água como fonte de disseminação de algumas doenças, seja por ingestão ou contato, e nesse contexto a desinfecção de efluente sanitário é um importante passo para proteção da saúde pública, uma vez que se estima que organismos patogênicos presentes na água sejam responsáveis por mais de mil mortes anuais em áreas com déficit sanitário (METCALF; EDDIE, 2004).

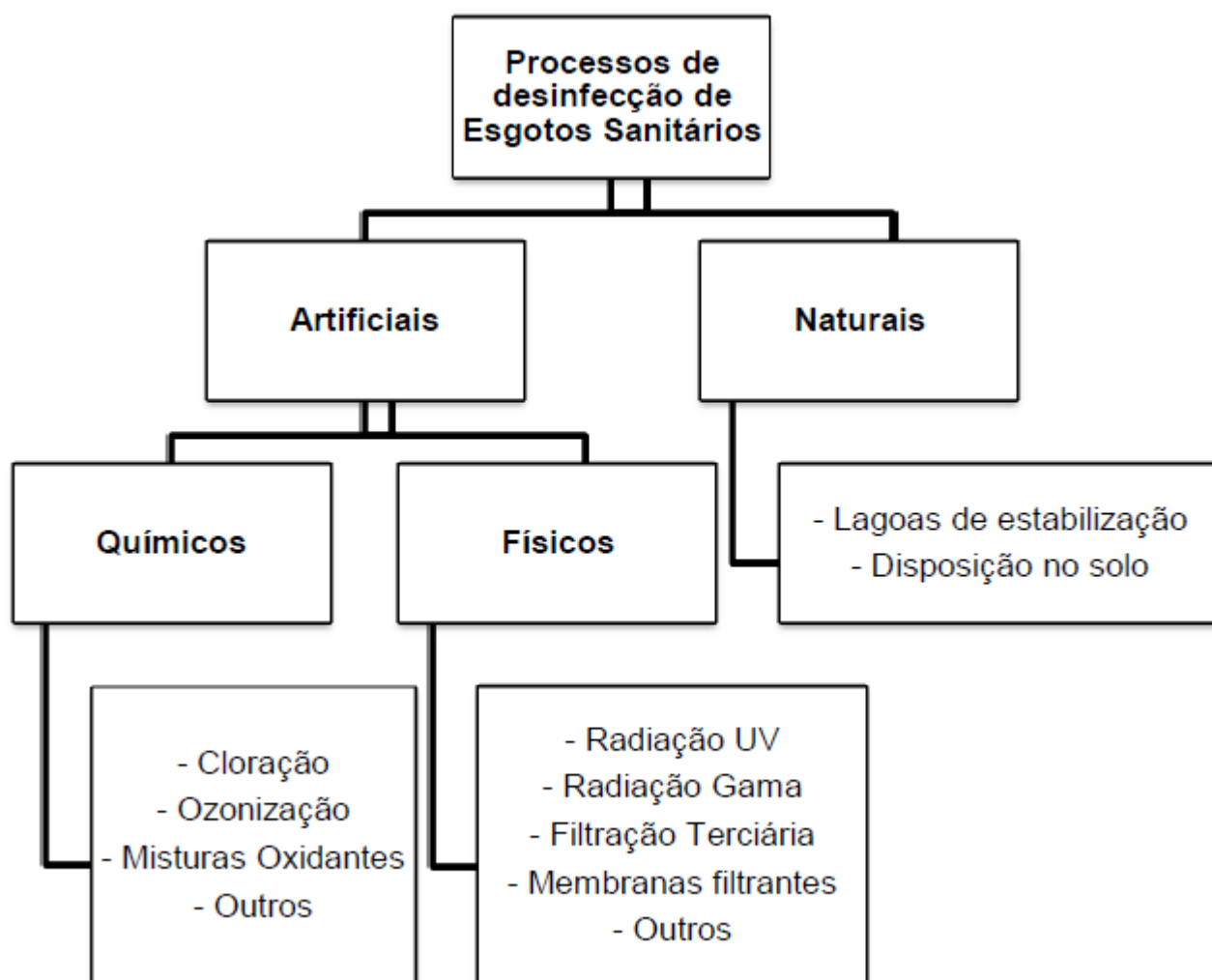
Pretendendo-se implementar um sistema de desinfecção de efluentes sanitários, é importante conhecer as suas características, tanto em relação aos parâmetros físico-químicos convencionais de monitoramento (pH, alcalinidade, DBO, SS, etc.) como as características, principalmente, em relação aos parâmetros microbiológicos de avaliação das concentrações de organismos patogênicos ou de organismos indicadores de contaminação.

Segundo Sperling (2005, p. 362):

A decisão sobre a implantação da desinfecção de esgoto não é simples, devido aos custos envolvidos, eficácia com relação à efetiva remoção das principais classes de organismos de interesse em termos de saúde pública (bactérias, vírus, protozoários, helmintos), possível geração de compostos tóxicos, uso do corpo receptor, visão integrada da bacia hidrográfica e outros aspectos.

O desempenho de determinado processo de desinfecção é diretamente dependente da resistência específica dos diferentes organismos patogênicos ao agente desinfetante, bem como o comportamento hidrodinâmico no reator de desinfecção, tempo de contato, concentração e tipo do agente químico, intensidade e natureza do agente físico, número e tipos de organismos, natureza do líquido. Sendo assim, é importante que todas essas variáveis sejam considerados a fim de atingir resultados compatíveis com os esperados (GONÇALVES, 2003).

Gonçalves (2003) afirma ainda que a desinfecção pode ser realizada por processos naturais ou artificiais utilizando, isoladamente ou de forma combinada, agentes físicos e químicos para inativar os microrganismos, conforme pode-se observar na Figura 4.

Figura 4 – Processo de desinfecção

Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2003.

3.5 DESINFECÇÃO DE ESGOTO SANITÁRIO POR RADIAÇÃO UV

A desinfecção através da utilização de radiação UV "é um mecanismo físico, no qual a energia ultravioleta é absorvida pelos diferentes componentes orgânico-moleculares essenciais ao funcionamento normal das células." (HUFF et al., 1965 apud CHERNICHARO et al., 2001, p. 35).

Segundo Chernicharo et al. (2001, p. 35):

A ação germicida da radiação UV está associada às alterações estruturais que esta provoca no DNA das células, consequência de reações fotoquímicas desencadeadas pela absorção da radiação pelas moléculas que constituem o DNA. Ao ocorrer o processo natural de divisão celular com a duplicação do DNA, a estrutura formada pela absorção de radiação ultravioleta não é reconhecida, o que interrompe o processo de duplicação. Assim, a célula pode manter temporariamente as atividades metabólicas, mas não

consegue se reproduzir. Por isso diz-se que ocorre a inativação e não a morte do microrganismo.

A radiação UV é emitida por fontes naturais (sol) ou artificiais, e a porção do espectro eletromagnético onde o UV ocorre compreende entre a faixa de 100 a 400 nanômetros (nm), podendo também ser subdividida em ondas longas (UV-A) que vão de 320 a 400nm, ondas médias (UV-B) variando entre 280 a 320nm e ondas curtas (UV-C), que compreendem de 100 a 280nm (METCALF; EDDIE, 2004).

Segundo Villarino et al. (2000, apud OLIVEIRA, 2003, p.44) o comprimento de onda ótimo para a desinfecção por radiação UV varia da faixa de 220 a 300nm. “A radiação absorvida pelo ácido nucléico e pelas proteínas produz alterações fotoquímicas que podem conduzir a morte da célula”. Já de acordo com Ryer (1997 apud GONÇALVES, 2003) a faixa ótima de ação germicida para a inativação dos microrganismos presentes nos efluentes sanitários, é mais restritiva, e refere-se ao intervalo de comprimento de onda compreendido entre 245nm e 285nm.

“As moléculas de DNA dos organismos a serem inativados absorvem radiações com comprimento de onda entre 200 e 300nm, em especial aquelas em torno de 260nm, que alteram sua composição e comprometem sua funcionalidade” (CHANG, 1977 apud GONÇALVES, 2003, p. 221). Contudo, estudos realizados por Gonçalves (2003) sugerem que a resistência a radiação UV dos distintos organismos patogênicos varia de espécie para espécie, o que deve ser levado em consideração no dimensionamento dos reatores para a desinfecção UV.

Chernicharo et al. (2001, p. 40) afirma que:

O resultado final da exposição dos microrganismos à radiação ultravioleta, ou seja, a inativação total ou parcial destes reflete a relação mútua entre a formação de fotoprodutos letais e sua remoção por processos de recuperação que visam impedir a letalidade, preservando a espécie. Assim, ao avaliar a eficiência da desinfecção realizada com radiação ultravioleta, devem-se considerar os microrganismos que são capazes de se recuperar após a irradiação.

Existem dois processos pelos quais os microrganismos irradiados com UV podem se recuperar, a fotorreativação e a recuperação no escuro. A primeira delas refere-se à capacidade dos mesmos de retornar ao seu estado anterior às modificações causadas pela radiação UV, que “é obtida por meio de recuperações fotoenzimáticas que monomerizam *in situ* os dímeros de pirimidina pela ação de enzima na presença de radiação de comprimento de onda de 300 a 500nm”. Já no segundo caso o que ocorre é a substituição dos nucleotídeos afetados pela radiação UV na ausência de luz, a mesma “pode ser feita por meio de remoção da parte lesada e de uma seqüência de nucleotídeos adjacentes, com

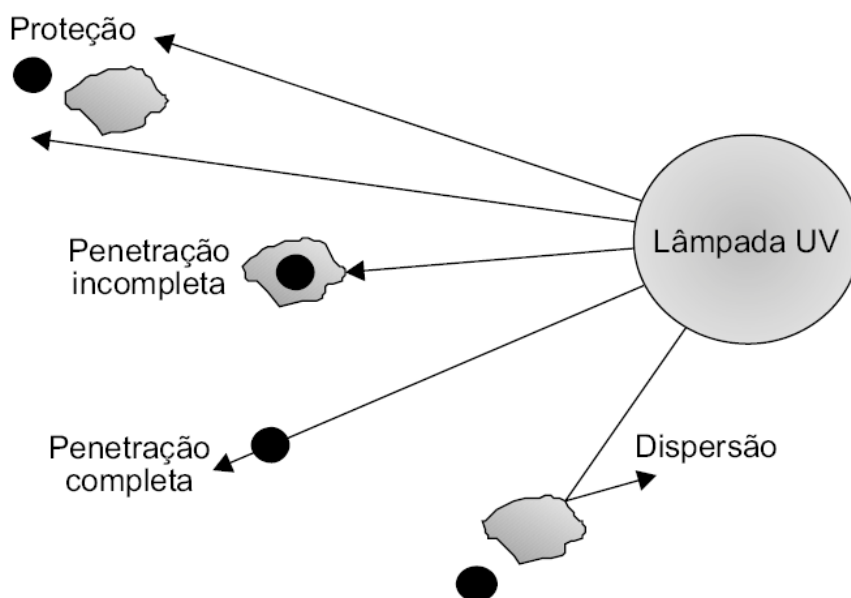
posterior ressíntese da seqüência original de nucleotídeos” (JAGGER,1958 apud CHERNICHARO et al., 2001, p. 41).

Por este motivo, Chernicharo et al. (2001, p. 41) e Gonçalves (2003, p. 230) estão de acordo quando afirmam que:

A recuperação pós-irradiação será menor quanto maior for a dose recebida. Em doses elevadas, a quantidade de dímeros é maior que a capacidade de recuperação do microrganismo, não havendo tempo para reverter todas as alterações antes que inicie a duplicação da célula. Considerando os fatores ambientais que influenciam a fotorreativação, esta deve ser controlada, aumentando-se a dose de radiação no sistema de desinfecção. É importante notar que o efeito da fotorreativação pode ser reduzido, mas nunca eliminado.

Dentre as características do efluente que podem influenciar o processo de desinfecção destacam-se os SS e a Turbidez. É desejável que a concentração de SS seja menor que 10mgSS/L, uma vez que quanto maior a concentração de SS, maiores serão os efeitos de dispersão da radiação aplicada e de proteção dos microrganismos pela matéria particulada, comprometendo assim a eficiência da inativação, como pode ser observado na Figura 5 (GONÇALVES, 2003; JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Figura 5 – Efeitos da matéria particulada na desinfecção UV



Fonte: Gonçalves, 2003.

Entretanto estudos apontam que pode haver uma boa inativação de coliformes fecais numa faixa entre 20 a 40mgSS/L, ressaltando-se que quanto pior for a qualidade do efluente, ou seja, quanto

maior for a concentração de SS, maior será a dose necessária de aplicação e o consumo de energia, e consequentemente menor a eficiência de desinfecção (JORDÃO; PESSÔA, 2009).

Para Gonçalves (2003), além dos efeitos das concentrações de SS e da quantidade de partículas associadas a microrganismos, também se deve levar em consideração que a absorção de energia por meio de alguns compostos químicos no efluente sanitário abrande a radiação UV antes mesmo que ela atinja o alvo. No Quadro 6 são apresentados alguns compostos químicos e seus efeitos na desinfecção UV, quando os mesmos estão presentes nos efluentes sanitários.

Quadro 6 – Efeito de características do efluente sanitário na desinfecção por radiação UV

Características do efluente sanitário	Efeitos na desinfecção UV
Amônia	Nenhum detectado
Nitrito	Nenhum detectado
Nitrato	Nenhum detectado
DBO	Nenhum detectado. Entretanto, se grande parte da DBO é húmica e/ou de compostos não saturados (ou conjugados), então a transmissão do UV pode ser diminuída.
Dureza	Afeta a solubilidade de metais que podem absorver a luz UV. Pode levar à precipitação de carbonatos nos tubos de quartzo.
Materiais húmicos, ferro	Alta absorbância de radiação UV.
pH	Afeta a solubilidade de metais e carbonatos.
SST	Absorve a radiação UV e protege microrganismos no interior das partículas.

Fonte: Adaptado de USEPA (1999) apud GONÇALVES, 2003.

Assim como ocorre com as concentrações de SS, “quanto mais alta a concentração destes compostos no líquido, menor a disponibilidade da radiação UV e sua conseqüente absorção pelos organismos” (GONÇALVES, 2003, p. 226).

O poder germicida do espectro de radiação UV vem sendo discutido e otimizado desde a sua utilização pioneira, no início dos anos 1990, sendo então desenvolvidas novas lâmpadas, reatores e equipamentos auxiliares (METCALF; EDDIE, 2004). A exposição dos microorganismos "é feita em canais ou em dutos sob pressão, denominados reatores fotoquímicos, fotorreatores ou simplesmente reatores UV" (GONÇALVES, 2003, p. 210).

Os principais modelos utilizados consistem em: lâmpadas fixadas em refletores, sobre o líquido; lâmpadas imersas, protegidas por material transparente à radiação UV e lâmpadas externas a tubos transparentes nos quais escoar o líquido (CHERNICHARO, 2001).

As lâmpadas utilizadas nos processos de desinfecção UV diferem-se principalmente através da capacidade de emissão de energia. Seu funcionamento é semelhante ao funcionamento de lâmpadas fluorescentes e baseia-se na excitação dos elétrons do vapor de mercúrio ionizado presente no interior do tubo, geralmente de quartzo, que a constitui. A radiação UV é emitida pelo fluxo de elétrons através da perda energética entre o estado de excitação e o de menor energia. O tubo constituinte da lâmpada também é preenchido com um gás inerte (comumente o argônio) que diminui a perda térmica da lâmpada, contribuindo para o seu rendimento (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; DANIEL et al., 2001 apud FREIRE, 2007).

As lâmpadas podem ser classificadas como de baixa pressão, de média pressão e lâmpadas que emitem energia em comprimentos de onda com alta intensidade em pulsos, sendo mais facilmente encontradas no mercado para uso na desinfecção as lâmpadas de baixa e média pressão (DI BERNARDO; DANTAS, 2005). O Quadro 7 relaciona as principais características das lâmpadas de baixa e média pressão.

As lâmpadas de baixa pressão são recomendadas para pequenas vazões. Quando a vazão é maior recomenda-se o uso de lâmpadas de média pressão por requerer então um menor número de lâmpadas (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Quadro 7 – Principais características das lâmpadas para geração da radiação UV

Tipo	Características gerais
Lâmpada de baixa pressão	- Emite radiação UV em comprimentos de onda de 185 a 254nm; - Voltagem entre 120 e 240 V; - Temperatura do plasma de mercúrio entre 40 e 50 °C; - Vaporização incompleta do mercúrio
Lâmpada de média pressão	- Emite radiação UV em comprimentos de onda de 180 a 400nm; - Não é influenciada por variações acentuadas de temperatura; - Voltagem entre 1.000 e 2.000 V; - Temperatura do plasma de mercúrio entre 600 e 900 °C; - Vaporização completa do mercúrio

Fonte: Adaptado de Di Bernardo e Dantas, 2005.

O Quadro 8 relaciona as vazões de efluente a ser tratado com o número de lâmpadas de baixa pressão e a potência equivalente de uma lâmpada de média pressão:

Quadro 8 – Número de lâmpadas de baixa pressão e potência da lâmpada de média pressão para diferentes vazões a serem tratadas

Vazão a ser desinfetada (m³/h)	Número de lâmpadas de baixa pressão		Potência de uma lâmpada de média pressão (kw)
	30 w	60 w	
15	4	-	0,7
25	8	-	1,2
50	16	8	1,8
150	48	24	2,5
250	96	40	3,5
525	192	72	5,0

Fonte: Adaptado de Di Bernardo e Dantas, 2005.

Em relação às lâmpadas de baixa pressão, essas podem ser subdivididas em lâmpadas de baixa ou alta intensidade e apresentam como vantagem a possibilidade de tornar os sistemas de desinfecção mais compactos. Usualmente as lâmpadas de baixa pressão e baixa intensidade geram essencialmente radiação monocromática em comprimentos de onda de 254nm, operando em temperaturas ótimas de 40°C. Por haver um excesso de mercúrio líquido nesse tipo, a pressão de vapor do mercúrio é controlada pela temperatura da parede da lâmpada. Se a parede não mantém a temperatura ótima,

parte do vapor de mercúrio retorna ao estado líquido, diminuindo o fluxo de átomos excitados e consequentemente a taxa de UV emitido (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; METCALF; EDDIE, 2004).

As lâmpadas de baixa pressão e alta intensidade possuem o funcionamento semelhante às outras lâmpadas de baixa pressão, porém o mercúrio é substituído por uma mistura de mercúrio e índio otimizando a vaporização do mercúrio, provendo maior estabilidade em outras faixas de temperatura e aumentando o tempo útil de vida da lâmpada em até 25% (METCALF; EDDIE, 2004).

As lâmpadas de média pressão geram radiação policromática, operando em faixas de temperatura de 600 a 800 °C, mantendo então a emissão da radiação UV independente da temperatura do efluente a ser encaminhado pelo reator. O consumo de energia é elevado em 10 vezes em relação às lâmpadas de baixa pressão sendo, portanto, indicadas para tratamentos de grandes vazões ou em situações de limitação por espaço a fim de garantir um menor tempo de contato do efluente no reator (DI BERNARDO; DANTAS, 2005; METCALF; EDDIE, 2004). De acordo com Daniel (2000 apud OLIVEIRA 2003), as lâmpadas de baixa e média pressão são as principais fontes de radiação UV utilizadas para a desinfecção de esgoto sanitário.

A eficiência da desinfecção UV está diretamente ligada à dose de radiação a qual os organismos foram expostos. A dose UV é definida conforme:

$$D = I \times t \quad (\text{eq. 01})$$

Onde D é a dose em milijoule por centímetro quadrado (mJ/cm²), ou o equivalente, miliwatts por segundo por centímetro quadrado (mW.s/cm²); I é a intensidade em miliwatts por centímetro quadrado (mW/cm²) e t é o tempo de exposição, em segundos.

No Quadro 9 é apresentada uma coletânea das doses de UV recomendadas para inativação dos principais microrganismos presentes nos efluentes sanitários.

Como pode ser visto, para inativação de microrganismos como bactérias e vírus, que são sensíveis à radiação UV, doses de aproximadamente 20 mW.s/cm² são suficientes. Em contrapartida, para que ocorra uma eficiência de inativação de protozoários e helmintos, que são mais resistentes a radiação UV, serão necessárias doses bem superiores, que podem chegar a inviabilizar o tratamento devido ao seu elevado custo. Logo, sugere-se que tais microrganismos sejam “retidos ou eliminados nas etapas do tratamento que precedem a desinfecção UV, o que, em função das consideráveis proporções, geralmente ocorre por sedimentação ou filtração” (GONÇALVES, 2003, p. 222).

Quadro 9 – Principais microrganismos presentes no esgoto sanitário e suas respectivas doses para inativação

Organismo	Dose UV (mW.s/cm ²)
Bactérias <i>Salmonellatyphi</i> <i>Salmonellaparatyphi</i> <i>Shigella</i> <i>Vibriochoerae</i> <i>E coli</i>	 7,0 6,1 4,2 6,5 6,6
Enterovírus <i>Vírus da pólio</i> <i>Vírus da hepatite A</i>	 7,5 3,7
Protozoários <i>Entamoebahistolytica</i> <i>Giárdia lambia</i>	 84 100
Helmintos <i>Nematóides</i>	 40

Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2003.

A radiação UV não é transmitida com intensidade constante àquela gerada na fonte, sofrendo um efeito de atenuação por absorção da radiação no próprio meio. Para estimar atenuação, coeficiente de absorbância (α) é comumente utilizado para corrigir a absorbância do meio (GONÇALVES, 2003).

Para estimar a intensidade da radiação UV a medição direta se apresenta como uma boa alternativa devido a sua simplicidade, sendo a radiometria o principal recurso, através de “radiômetros equipados com detectores com filtros para determinar a intensidade em um comprimento de onda específico” (RYER, 1997 apud GONÇALVES, 2003, p. 218). Também são sugeridos métodos empíricos que servem então como meio para confirmar o comportamento da intensidade obtido pela medição direta (BLATCHLEY III, 1997 apud GONÇALVES, 2003).

Segundo a lei de Bunsen-Roscoe, a intensidade da radiação UV e o tempo de exposição podem ser variáveis se a relação entre o produto de ambos (dose aplicada) permaneça constante (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Entre as vantagens do uso da radiação UV para a desinfecção de efluentes sanitário, destacam-se a sua efetividade na inativação de organismos biológicos (vírus, esporos e cistos); a não geração,

manipulação, transporte ou armazenamento de produtos químicos; a ausência de efeito residual, que pode ser prejudicial aos seres humanos ou à vida aquática; a fácil operação; o baixo tempo de contato quando comparado com outros desinfetantes (aproximadamente de 20 a 30 segundos com lâmpadas de baixa pressão) e o fato da estrutura requerer pouco espaço (USEPA, 1999 apud GONÇALVES, 2003).

Entre as desvantagens podem ser citadas a influência da turbidez e SS na eficiência da desinfecção; o custo comparado com a desinfecção com cloro; a não inativação efetiva de alguns esporos, vírus e cistos com baixas dosagens; a probabilidade de ocorrência de reativação de alguns organismos e a necessidade de manutenção preventiva para controle de formação de biofilme nos reatores de contato (USEPA, 1999 apud GONÇALVES, 2003).

3.6 TESTES DE HIPÓTESES

São frequentemente utilizados quando há a necessidade de se testar hipóteses sobre parâmetros. O principal item na realização desses testes é o estabelecendo da hipótese nula e da hipótese alternativa. Baseiam-se em método análogo ao da prova por exclusão, objetivando comprovar que a hipótese nula é falsa, dentro de um certo nível de significância. Caso seja falsa se aceita a hipótese alternativa. Outro fator importante da realização desses testes é a definição do nível de significância, onde quanto menor o nível de significância, maior a confiança na sua conclusão (SPERLING, 2005).

Ainda de acordo com Sperling (2005, p.426 a 428), quando há normalidade nas distribuições da amostra, o teste é caracterizado como paramétrico e podem ser realizados através de simples fórmulas e regras, tais como desvio padrão e média. Porém quando a distribuição não segue uma normalidade e não se deseja fazer inferências sobre essa distribuição deve se utilizar os chamados testes não paramétricos.

3.7 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Também conhecido como ANOVA (“Analysis of Variance”), é utilizado em situações onde se deseja comparar mais de dois grupos de dados, sendo uma extensão do teste t de Student. Pode determinar se os grupos de dados possuem valores médios que não diferem entre si de forma significativa, através da comparação de duas estimativas da variância global do conjunto de dados (SPERLING, 2005).

Segundo Sperling (2005, p. 437 e 438):

Em analogia aos testes de hipóteses mais usuais, se a hipótese nula é verdadeira, então as médias dos grupos não irão diferir significativamente da média global. Como consequência, a variância global deverá ser muito

similar às variâncias dos dados de cada grupo, tomadas em seus respectivos valores médios. Ao contrário, se as médias de alguns grupos forem suficientemente da média global, então a variância intragrupos (dentro dos grupos) não será igual à variância global.

4 METODOLOGIA

4.1 TIPO DE PESQUISA

Quanto aos objetivos, o presente trabalho caracteriza-se por pesquisa exploratória que, segundo Gil (2002, p.41), tem finalidade de “proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito.” Nesse tipo de pesquisa os procedimentos técnicos utilizados para coleta de dados assumem, na maioria das vezes, o modelo de estudo de caso, que ainda de acordo com Gil (2002, p.124) é o “delineamento mais adequado para a investigação de um fenômeno dentro do seu contexto real”.

Atrelado ao estudo de caso utiliza-se a pesquisa experimental, procedimento técnico que “consiste essencialmente em submeter os objetos de estudo à influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para observar os resultados que essas variáveis produzem no objeto” (BARROS; LEHFELD, 2000, p.76).

4.2 FERRAMENTAS DE PESQUISA

Para a condução da presente pesquisa foram utilizadas as seguintes ferramentas: pesquisa bibliográfica, entrevista não-estruturada, observação direta e procedimento experimental, os quais são descritos a seguir.

4.2.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

As principais fontes de pesquisa consultadas para realização deste trabalho foram acervo técnico e procedimentos internos da empresa operante da ETE estudada, apostilas técnicas, artigos acadêmicos, internet, legislação vigente, livros, monografias, teses, dentre outros.

4.2.2 ENTREVISTA NÃO ESTRUTURADA

As informações operacionais da ETE, tais como a série histórica de monitoramento de SS, a rotina operacional, problemas já relatados na operação, dentre outros, foram disponibilizadas pelo setor de meio ambiente da empresa, através de entrevistas não estruturadas.

4.2.3 OBSERVAÇÃO DIRETA

Por se tratar de um sistema implantado e operante na empresa responsável pela ETE estudada, foram realizadas visitas à planta para conhecimento do sistema, permitindo assim a caracterização das unidades e processos.

4.2.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O procedimento experimental constituiu-se das seguintes etapas: construção de aparatos experimentais, avaliação da sedimentabilidade do efluente, determinação da sedimentação em escala piloto, medição da vazão na ETE, checagem do dimensionamento do decantador, aplicação da radiação UV em escala piloto e análise estatística da desinfecção, os quais serão descritos a seguir.

Os equipamentos, materiais e vidrarias utilizadas foram pipetas, pêra, bastão de vidro, becker de 50, de 100 e de 2000mL, proveta de 1000mL, cone *Imhoff*, filtros de fibra de vidro de 40 μ m, bomba a vácuo, dessecador, placas de petri, estufa, cadinho, mufla, funis e suportes para o material.

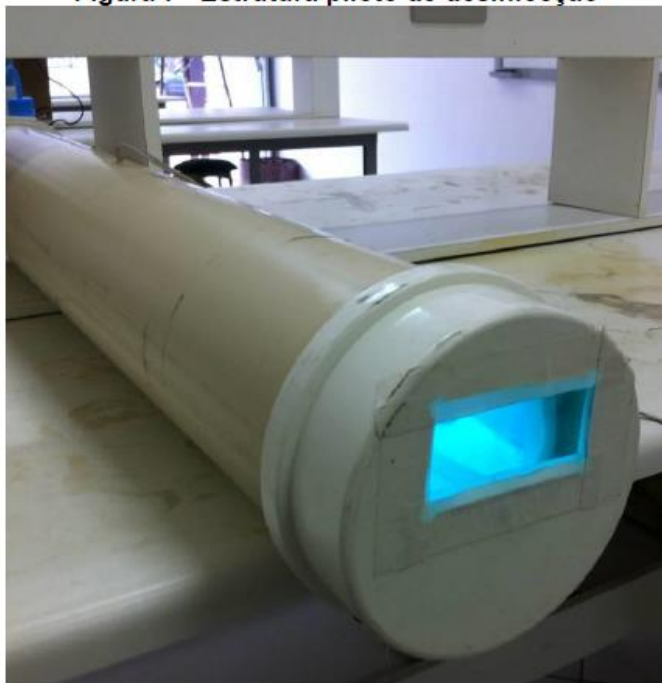
4.2.4.1 APARATOS EXPERIMENTAIS

A construção do aparato de sedimentação em escala piloto seguiu as recomendações de Metcalf e Eddie (2004). Assim, construiu-se no Laboratório de Saneamento do Unileste, uma coluna cilíndrica composta por um tubo de PVC classe A, graduada, com diâmetro interno de 150mm e altura de 3,2m, a fim de simular a profundidade de um segundo decantador, com volume útil de 56,5 litros (Figura 6). No estudo em questão foram instalados pontos de amostragem, cujos intervalos de graduação de profundidade foram de 0,2m, 1,2m e 2,2m e um registro de fundo para o descarte do efluente após o ensaio.

Construiu-se ainda uma estrutura piloto de desinfecção, composta por tubo de PVC classe A, com diâmetro de 150mm e comprimento de 1,0m, contendo em seu interior uma lâmpada tubular germicida OSRAM, de baixa pressão de vapor de mercúrio, de 30 W de potência, 90 cm de comprimento, associada ao reator de alimentação, acionado por energia elétrica. Uma calha de alumínio foi utilizada para intensificar o efeito germicida. Prezando pela segurança, uma vez que a radiação UV em exposição prolongada pode causar danos à pele e aos olhos, foram fechadas as extremidades do tubo de PVC com caps (Figura 7).

Figura 6 – Coluna de Sedimentação

Fonte: Autoras.

Figura 7– Estrutura piloto de desinfecção

Fonte: Autoras.

O efluente foi coletado na empresa operante da ETE e transportado até o Laboratório de Saneamento do Unileste para os posteriores testes.

4.2.4.2 AVALIAÇÃO DA SEDIMENTABILIDADE DO EFLUENTE

Com o intuito de avaliar as características de sedimentabilidade do efluente estudado. Realizou-se o procedimento para determinação de sólidos sedimentáveis segundo a metodologia 2540-F proposta pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, utilizando Cone Imhoff (APHA, 2005). O líquido sobrenadante foi pipetado e a seguir, aferiu-se sua turbidez.

4.2.4.3 DETERMINAÇÃO DA SEDIMENTAÇÃO EM ESCALA PILOTO

O teste de sedimentação seguiu as recomendações de Metcalf e Eddie (2004). Inicialmente, preencheu-se o volume útil da coluna com o efluente, estabelecendo-se 06 intervalos de tempo, sendo eles 0, 20, 40, 60, 100 e 120 minutos, para retirada das amostras, em duplicata, em cada ponto de coleta.

Após cada coleta, determinou-se a respectiva concentração de SS segundo a metodologia 2540-D proposta pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). De posse da concentração de SS, calculou-se a remoção percentual para cada amostra analisada, traçou-se as curvas de isoeffiência e calculou-se as eficiências parciais.

A TAS (taxa de aplicação superficial) é análoga a velocidade de sedimentação das partículas, calculada através do quociente entre a altura da coluna (m) e o tempo requerido para a partícula tocar o fundo. A partir dos resultados, traçou-se a Curva da TAS em relação a eficiência de remoção de SS e ao tempo.

4.2.4.4 MEDIÇÃO DA VAZÃO NA ETE

O sistema de bombeamento da vazão da ETE é compreendido por uma bomba submersível, instalada em um poço de sucção com medidor de nível. A cada variação de nível a bomba é acionada. Para a determinação da vazão de entrada, leu-se a altura da lâmina durante um período de seis horas através de uma calha Parshall, a fim de se conhecer a vazão média através da equação abaixo:

$$Q = K \times H^n \quad (\text{eq. 1})$$

Onde K e n são constantes que dependem da dimensão da garganta (W) da calha, conforme Tabela 1:

Tabela 1 – Constantes da Calha Parshall

W In	Vazão em l/s		Vazão em m ³ /h	
	K	n	K	n
1 in	60,4	1,550	217	1,550
2 in	121	1,550	435	1,550
3 in	177	1,547	636	1,547
6 in	381	1,580	1370	1,580
9 in	535	1,530	1930	1,530

Fonte: Adaptado de ABE, 2004.

4.2.4.5 DIMENSIONAMENTO DO DECANTADOR

De posse dos dados do teste da coluna de sedimentação e da série histórica disponibilizada pela empresa, foram realizados os cálculos para dimensionamento de um segundo decantador, a fim de se conhecer a área do decantador ideal para remoção de SS para aplicação de desinfecção por radiação UV.

A vazão média de entrada da ETE foi correlacionada ao número de funcionários da empresa no momento do estudo para determinação da contribuição per capita real, segundo:

$$C = \frac{\bar{Q}}{N_i} \quad (\text{eq. 2})$$

Onde C é a contribuição per capita real, $\bar{Q}$ é a vazão média e N_i é o número de funcionários.

Em seguida, foi estimado o cenário crítico para vazões máximas relacionando a contribuição per capita real com o número máximo de funcionários ($N_{\text{máx}}$):

$$Q_{\text{crítica}} = C \times N_{\text{máx}} \quad (\text{eq. 3})$$

A eficiência de remoção de SS desejada no decantador foi definida por:

$$Ef = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad (\text{eq. 4})$$

Onde S_0 é a concentração de SS afluente ao decantador e S é a concentração de SS na saída.

A fim de se determinar os valores médios de concentração inicial (S_0) e concentração final (S) de SS no efluente da ETE, analisou-se a série histórica de SS dos anos de 2011 a 2013, e sua respectiva análise de variância, utilizando-se o software Statística 7.

Através da curva que relaciona TAS a eficiência de remoção de SS e ao tempo, e conhecendo a eficiência de remoção desejada, foi possível encontrar a TAS requerida.

A área do decantador ideal foi determinada, então:

$$A = \frac{Q_{\text{crítica}}}{TAS} \times K \quad (\text{eq. 5})$$

Onde K é um fator de segurança que varia entre 1,5 e 2 (adotou-se o valor de 2 para maximizar a segurança).

A área calculada para o decantador ideal foi então comparada à área da unidade operante. Se comprovada a necessidade de dimensionamento de um decantador complementar, o mesmo seria dimensionado segundo o mesmo procedimento. O procedimento de dimensionamento previu atender os parâmetros estabelecidos na NBR 12209 da ABNT.

4.2.4.6 APLICAÇÃO DA RADIAÇÃO UV EM ESCALA PILOTO

A concentração de SS no efluente do decantador existente foi aferida para que não ultrapassasse a concentração aceitável para aplicação de radiação UV, entre 10 a 40mg/L.

O processo de desinfecção se deu por batelada. Assim, as amostras do efluente com volume de 2L foram submetidas, em triplicata, a tempo de exposições de radiação UV distintos (60, 120 e 240 segundos). Após o ensaio de desinfecção, as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de água e efluentes Certificar, em Ipatinga/MG, seguindo as recomendações de acondicionamento e transporte a fim de preservar as características do amostrado, para a determinação das concentrações de *E.coli* na entrada e saída do reator. De posse dos resultados, calculou-se a eficiência de remoção em função de cada tempo de exposição, e a partir disso foram traçados os gráficos de remoção de *E. coli* em função do tempo de exposição, e eficiência de remoção de *E. coli* em função do tempo de exposição, determinando a linha de tendência para o sistema.

4.2.4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DA DESINFECÇÃO

Após o ensaio de desinfecção, para avaliar a eficiência dos tempos de exposição, foi aplicado o teste de Levene, seguido do ANOVA e do post-hoc Tukey, através do software Statística 7 nos dados brutos e nos dados logaritmizados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A ETE de estudo está localizada nas dependências de uma empresa privada situada na cidade de Ipatinga/MG. A mesma realiza tratamento de efluente sanitário, composto pelo efluente doméstico das instalações fabris e uma parcela de efluente industrial previamente tratado por sistema separador de água e óleo (SAO). Cabe ressaltar que a contribuição industrial não descaracteriza o efluente, que se mantém com características tipicamente domésticas.

A tecnologia de tratamento aplicada é composta por um sistema biológico de lodos ativados por aeração prolongada. A estrutura física da ETE (Figura 8) compreende:

1. Unidade medidora de vazão (calha Parshall).
2. Tanque de aeração com dois aeradores mecânicos.
3. Decantador com raspador mecânico.

4. Sistema de recirculação e descarte do lodo com conjunto de bombas.

5. Leitos de secagem.

6. Plataformas de operação.

O efluente tratado é lançado no emissário da empresa, que é direcionado ao Rio Piracicaba, enquadrado segundo a DN Conjunta COPAM/CERH nº 01/2008, como rio classe II.

Figura 8 – Estação de tratamento de esgoto



Fonte: Nascimento, 2010.

Segundo dados fornecidos pela empresa, a população contribuinte da ETE é de aproximadamente 1400 funcionários, podendo chegar a um cenário de até 4000 funcionários. Seu funcionamento é de 24h por dia, e segundo dados de projeto, tem capacidade média de tratar 23,9 m³/h de efluente.

Parâmetros como DBO, DQO, SS, sólidos sedimentáveis, temperatura, agentes tensoativos e coliformes termotolerantes são monitorados continuamente à jusante e montante da ETE.

5.2 ANÁLISE DOS ENSAIOS EXPERIMENTAIS

5.2.1 SEDIMENTAÇÃO

O resultado observado no teste do Cone *Imhoff*, apresentou concentração de sólidos sedimentáveis menor que 0,1mL/L, e a turbidez aferida no sobrenadante foi de 15,1 UNT. Apesar de a concentração de sólidos sedimentáveis não sugerir grande formação de lodo para o efluente, ao se comparar a turbidez inicial de 35,1 UNT com a aferida após o ensaio, ficam evidenciadas as características de sedimentabilidade do efluente. O trabalho de Piccolo, Pinto e Teixeira (1999) sustentam essa

afirmativa ao evidenciar que a turbidez é um parâmetro mais indicado para determinação indireta da quantidade de sólidos em suspensão. A observação direta do efluente descartou também a ocorrência de flotação, que poderia influenciar a eficiência do processo de sedimentação e consequentemente a concentração de SS.

Segundo Jordão e Pessoa (2009), a determinação experimental da sedimentação através de ensaio por Cone *Imhoff* pode não ser satisfatória, uma vez que as paredes do cone interferem nos resultados reais. Sugere-se assim, realizar ensaios com maior precisão, em coluna de sedimentação com diâmetro igual ou superior a 150 mm e altura similar à do decantador.

Partindo desse pressuposto, o ensaio de sedimentação em escala piloto apresenta os seguintes valores da concentração de SS e da respectiva eficiência de remoção calculada, conforme a Tabela 2.

Observou-se na Tabela 2, que a remoção de SS tende a aumentar com o decorrer do tempo. Segundo Dreschwebler et al. (2013), no início do processo de sedimentação as partículas de maior peso específico sedimentam com maiores velocidades, quando comparadas com as demais, ocasionando uma remoção mais acentuada, que pode ser visualizada na eficiência de remoção de 56% na tomada 01 para o tempo de 20 minutos. A partir de 40 minutos “o ritmo de sedimentação decai consideravelmente, mantendo-se praticamente invariável”, como pode ser observado no tempo de 120 minutos, em que a concentração de SS no fundo, na mesma tomada foi de 18mg/L, o que representa 92% de remoção de SS em relação a concentração inicial.

Tabela 2 – Eficiência de remoção de SS no ensaio de sedimentação em escala piloto

Prof. SS	P1=0,20m		P2=1,20m		P3=2,20m	
Tempo (min)	SS (mg/L)	Ef (%)	SS (mg/L)	Ef (%)	SS (mg/L)	Ef (%)
0	237,50	0%	237,50	0%	237,50	0%
20	105,26	56%	130,00	45%	211,70	11%
40	97,50	59%	147,50	38%	105,00	56%
60	70,00	71%	77,50	67%	97,50	59%
100	38,00	84%	50,00	79%	48,00	80%
120	18,00	92%	31,00	87%	51,00	79%

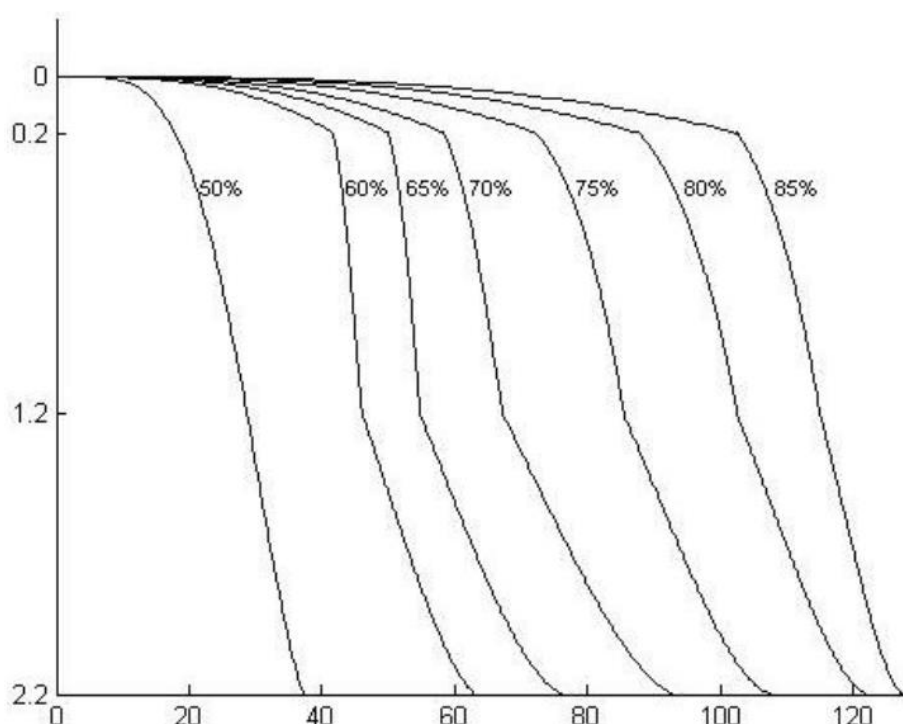
Fonte: Autoras.

Os valores de tempo de 40min com P2=1,20m e do tempo de 100min com P3=2,20m foram descartados para a plotagem das curvas de isoeeficiência (Figura 9) devido a não representatividade da real tendência de sedimentação do efluente.

As curvas de isoeeficiência mostram um fator fundamental para se dimensionar decantadores por auxiliar no cálculo da TAS (Tabela 3), refletindo no volume da unidade e seu consequente custo de implantação (DRESCHWEBLER et al., 2013).

No mesmo efluente, as partículas apresentam velocidades de sedimentação distintas, evidenciando o processo contínuo de sedimentação entre curvas. Na Tabela 3, observando o tempo de 36 minutos, percebe-se que à profundidade P3=2,20m (fundo do decantador), 50% de SS são removidos, com velocidade de sedimentação de 88 m/dia.

No mesmo tempo, partículas com velocidades inferiores também iniciam o processo de sedimentação, configurando uma condição de eficiência parcial de remoção, o que pode ser exemplificado observando o intervalo entre as curvas de 50 e 60%, onde 4,32% de SS foram removidos. De uma forma prática de entendimento do processo, tem-se que 50% das partículas serão projetadas diretamente ao fundo do tanque, entretanto há um percentual de partículas que será removido também porque serão interceptadas pelas paredes do tanque e depois projetadas ao fundo.

Figura 9 – Curvas de Isoeficiência

Fonte: Autoras.

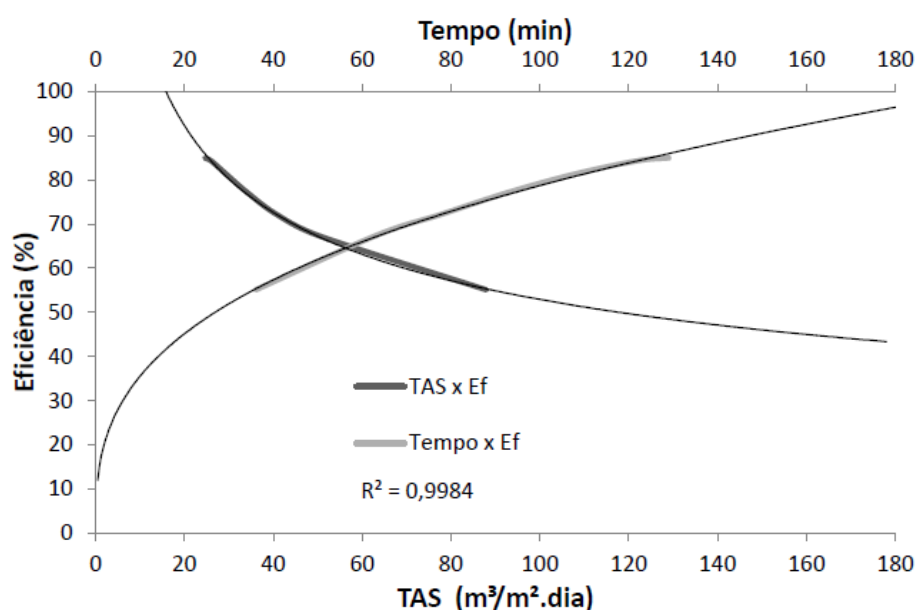
Na Tabela 3 são apresentados os resultados de eficiência total para cada tempo, acrescendo à eficiência de fundo, as eficiências parciais.

Segundo Jordão e Pessoa (2009), normalmente a quase totalidade dos SS é removida num período de duas horas, como observado no efluente estudado, em que 85% das partículas foram removidas para esse período. Ainda na Tabela 3, observa-se que a eficiência de remoção total de SS é inversamente proporcional a TAS e diretamente proporcional ao tempo, fato também comprovado na Figura 10.

Tabela 3 – TAS e Eficiência total de remoção de SS

Tempo (min)	TAS ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)	Eficiência (%)							Eficiência Total
		Fundo	50-60	60-65	65-70	70-75	75-80	80-85	
36	88,000	50,00	4,32	0,30	0,23	0,15	0,06	0,01	55,06
63	50,286	60,00	-	4,32	2,22	0,56	0,22	0,03	67,34
78	40,615	65,00	-	-	3,86	2,16	1,05	0,19	72,26
93	34,065	70,00	-	-	-	4,43	2,31	0,47	77,20
108	29,333	75,00	-	-	-	-	4,17	2,19	81,36
122	25,967	80,00	-	-	-	-	-	4,34	84,34
129	24,558	85,00	-	-	-	-	-	-	85,00

Fonte: Autoras.

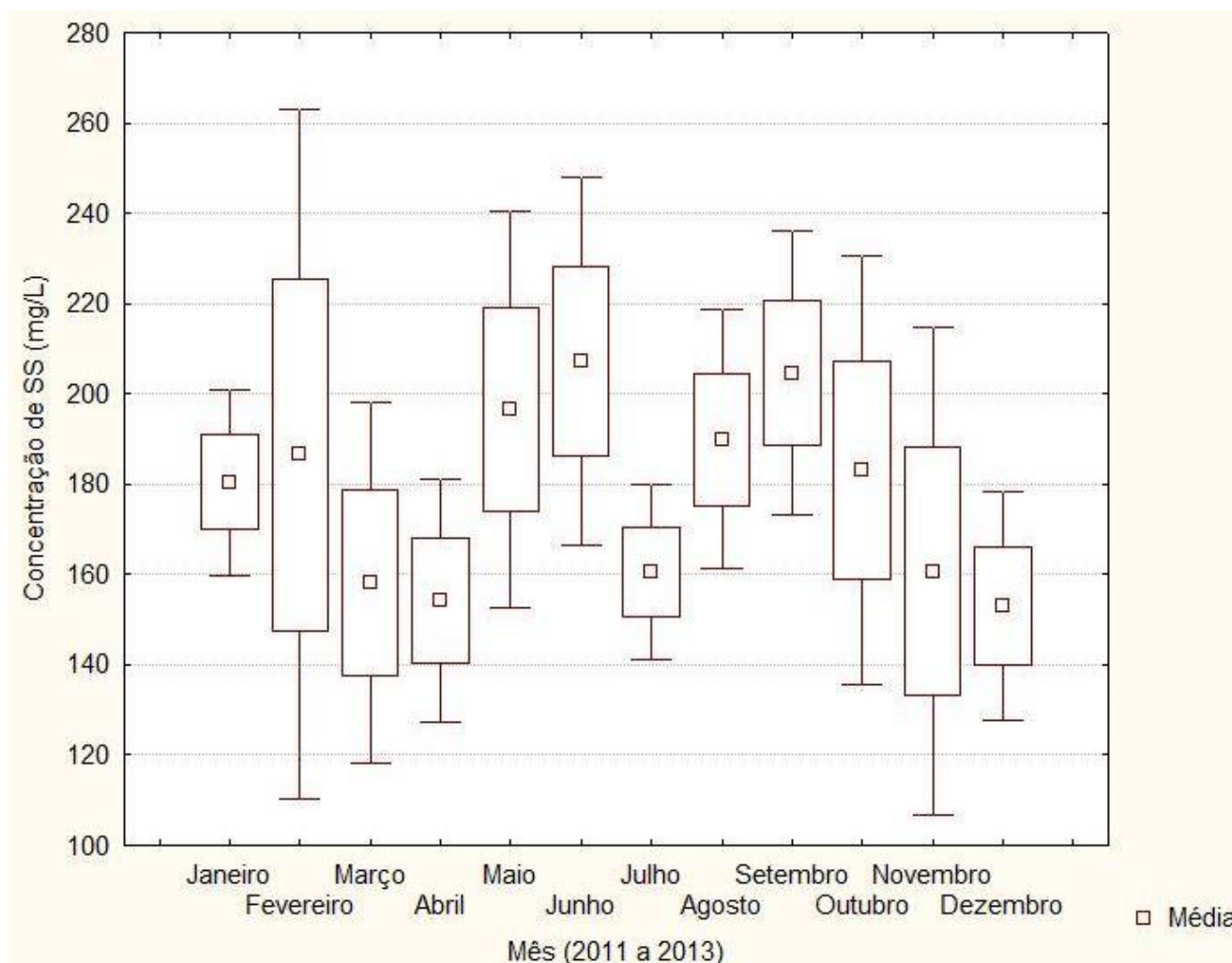
Figura 10 – Relação entre TAS e Eficiência e Tempo e Eficiência

Fonte: Autoras.

A eficiência requerida de remoção de SS do decantador ideal prevê atender padrões legais de lançamento e viabilizar a aplicação da radiação UV. Logo, para checagem de dimensionamento foi adotado um valor de referência de SS na saída do decantador (S) de 10mgSS/L. De acordo com Jordão e Pessoa (2009), a concentração de SS no efluente para não intervenção no processo de desinfecção, deve estar entre a faixa de 10 e 40mgSS/L, sendo o menor valor escolhido de forma a ampliar a margem de segurança.

O valor de SS de entrada (S_o) foi de 264mgSS/L (Figura 11), escolhido através do pior cenário possível, uma vez que o resultado pós análise de variância apresenta que a média simples para cada período não é representativa, sendo adotada a maior observada.

Figura 11 – Análise de variância de S_o



Fonte: Autoras.

Relacionando os valores de S e S_o , a eficiência de remoção para aplicação da radiação UV calculada é de 96%. Para a eficiência de remoção calculada, a TAS obtida através da Figura 10 foi de 18m³/m².dia.

Para determinação da vazão, foram adotados os valores de K e n em função da garganta de 3" da calha Parshall da ETE como sendo de 633,60 e 1,547, respectivamente. Acompanhando a operação do sistema, percebeu-se que o ciclo de funcionamento da bomba de alimentação da ETE é maior nos períodos de mudança de turno e intervalo para as refeições, com consequente bombeamento de maior vazão. Esse perfil de variação de vazão pode ser observado na Tabela 4:

Tabela 4 – Leitura na Calha Parshall e respectiva vazão

H (m)	Horário de acionamento da bomba	Horário de desligamento da bomba	Vazão (m ³ /h)
0,195	09:45	09:50	50,52
0,185	10:01	10:04	46,57
0,165	11:27	11:31	39,02
0,205	12:57	13:13	54,59
0,185	14:00	14:04	46,57
0,175	15:18	15:35	42,74
	Q_{Média}		46,67

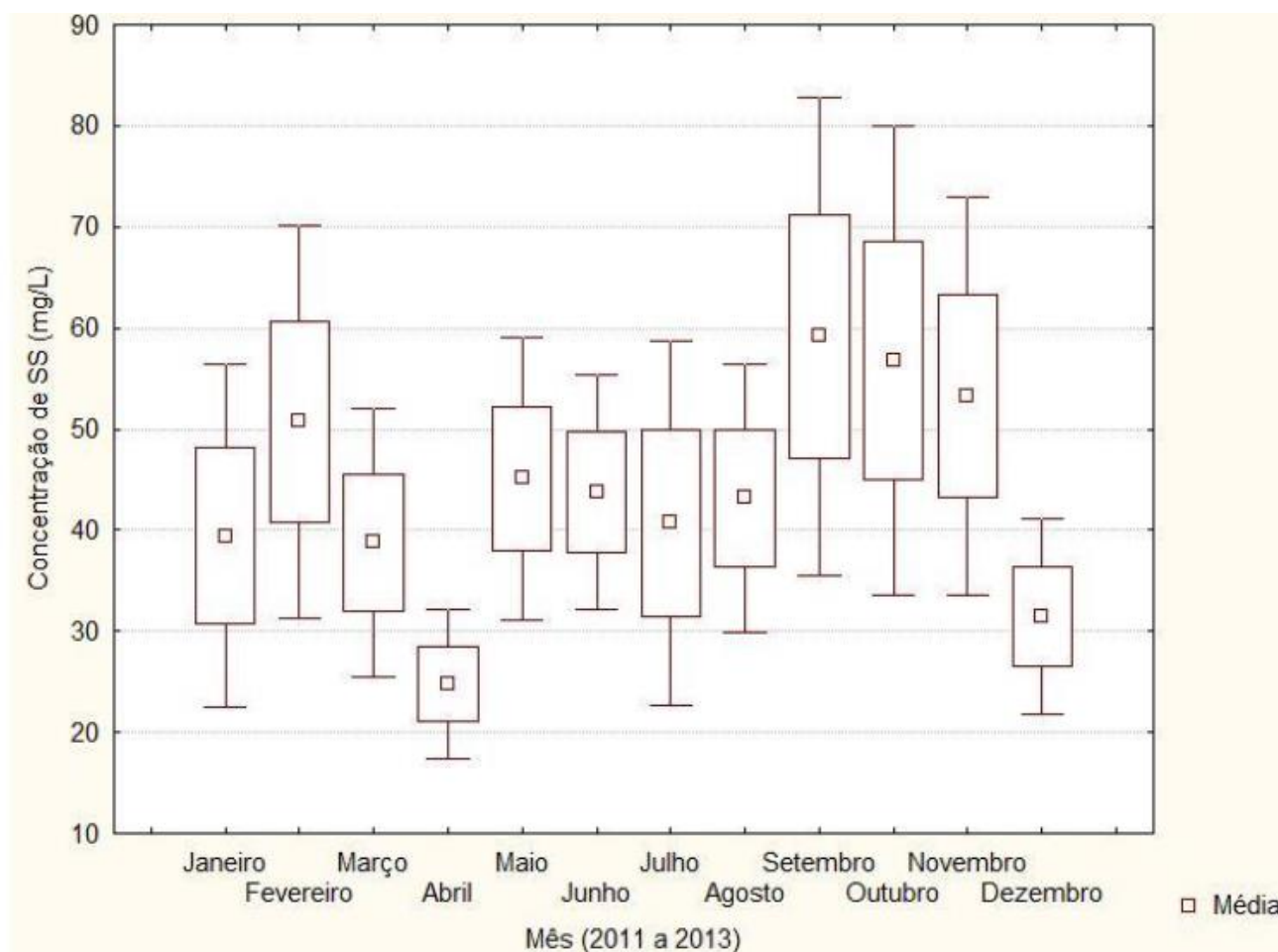
Fonte: Autoras.

A contribuição per capita real calculada foi de 0,8m³/funcionário.dia e a vazão crítica de 3200,23m³/dia. A então área teórica para um decantador ideal é de 356m². A área do decantador atual é de 47,5m², sugerindo-se assim, o dimensionamento de um decantador complementar. Cabe ressaltar que a sugestão de implantação de um novo decantador é fruto da necessidade de maximizar a remoção de SS e conferir qualidade ao efluente superior à demandada por padrões legais, a fim de propiciar condições ideais de aplicação de radiação UV. O decantador existente opera com TAS de 24m³/m² dia e eficiência de remoção de SS de 85%, garantindo o atendimento aos padrões legais de lançamento, mas apresentando eficiência inferior a requerida para desinfecção por radiação UV.

O valor de S_0 para o decantador complementar foi determinado a partir da análise dos valores de S do decantador existente, sendo ela de 83mg/L (Figura 12) pós análise de variância da série histórica, sendo adotada a maior observada.

A eficiência calculada para o decantador complementar é de 88%, a respectiva TAS de 25m³/m².dia e a área superficial de 90m².

Uma vez definida a área necessária a sedimentação, deve-se mencionar que as dimensões de um possível novo decantador só poderão ser definidas após uma análise do terreno disponível. Segundo a NBR 12209 da ABNT a altura útil mínima deve ser igual ou superior a 2,0m e para decantador retangular a relação comprimento/largura deve ser igual ou superior a 2:1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992).

Figura 12 – Análise de variância de S**Fonte:** Autoras.

A elevada contribuição per capita calculada, que consequentemente resulta numa demanda maior por área para o decantador, pode ser resultado de uma contribuição industrial relevante proveniente de águas residuárias, invalidando assim a estimativa do cenário crítico em função do número de funcionários. Segundo a NBR 7229 da ABNT, a contribuição per capita em uma unidade fabril é de aproximadamente 70l/dia ou 0,07m³/dia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993).

De maneira semelhante, também é sugerido por Metcalf e Eddie (2004), a relação per capita em prédios industriais de 75l/dia ou 0,075m³/dia. Assim, a contribuição per capita real calculada apresenta-se aproximadamente 11 vezes acima do sugerido pela literatura.

5.2.2 DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO UV

A concentração de SS aferida no dia do ensaio de desinfecção foi de 13mgSS/L, sendo esse um valor conforme a faixa desejável para aplicação de UV, segundo Gonçalves (2003) e Jordão e Pessoa (2009).

A Tabela 5 apresenta o NMP de *E. coli* para cada 100 mL de amostra em cada tempo testado, bem como a discretização logarítmica dos dados, com intuito minimizar suas respectivas variâncias:

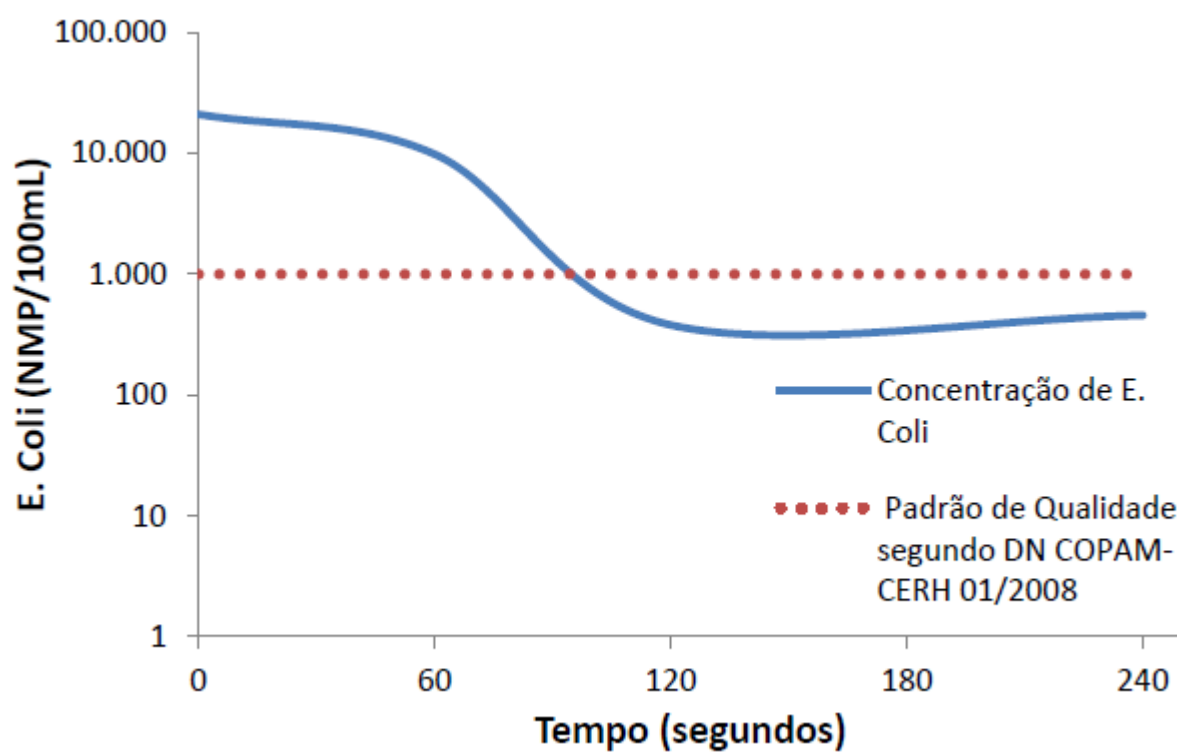
Tabela 5 – Teste de Desinfecção

Tempo (min)	<i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Log
0	11000	4,0414
0	26000	4,4150
0	26000	4,4150
60	460	2,6628
60	14000	4,1461
60	15000	4,1761
120	80	1,9031
120	800	2,9031
120	260	2,4150
240	800	2,9031
240	460	2,6628
240	110	2,0414

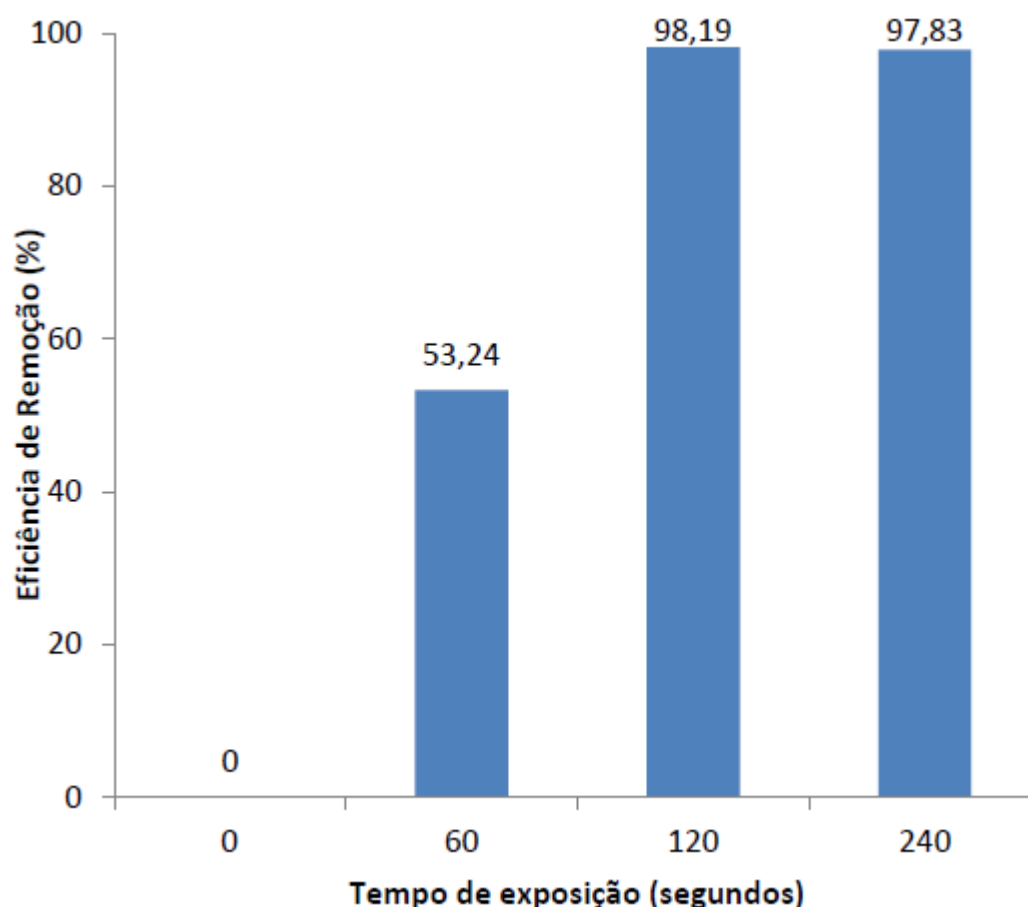
Fonte: Autoras.

Até o tempo de 120s, observa-se o decaimento do NMP/100mL de *E. coli*, com remoção de duas unidades logarítmicas (log) em relação à concentração inicial. Pós 120s não houve uma diminuição significativa de NMP/100mL de *E. coli*, mantendo-se na mesma ordem log do tempo anterior. O contrário se dá no estudo de Costa, Lobo e Wisbeck (2009), que também utilizou uma lâmpada de 30W, e observou uma influência negativa entre o tempo de exposição e a eficiência de inativação entre tempos de 60s e 120s, sendo 60s mais eficiente, diferentemente do proposto por Aguiar (2000), cujo tempo de 60s mostrou-se insuficiente para a remoção de *E. coli*, obtendo valores de remoção total a partir de 300s. Tais diferenças podem estar relacionadas às características do efluente, ao tipo de reator e a dose aplicada, não aferida em ambos os estudos.

Através das figuras 13 e 14 é possível observar o comportamento descrito na Tabela 5, onde a curva mostra significativa queda de NMP/100mL de *E. coli* até o tempo de 120s e posterior estagnação na tendência de decaimento.

Figura 13 – Remoção de *E. coli* em função do tempo de exposição

Fonte: Autoras.

Figura 14 – Eficiência de remoção de *E. coli* em função do tempo de exposição

Fonte: Autoras.

Observa-se também nas Figuras 13 e 14, que o tempo de 120s mostrou-se eficiente na busca pelo padrão de qualidade do corpo d'água receptor. A eficiência calculada para o tempo de 120s foi de 98,19% e para 240s foi de 97,83%, apresentando influência negativa entre o tempo de exposição e a eficiência de inativação.

Ao avaliar a eficiência dos tempos de exposição, o método de Levene para análise da homogeneidade de variância apresentou, para os dados brutos, p significativo, igual a 0,0049, invalidando a hipótese de igualdade das variâncias. Uma vez que não se assume a homogeneidade das variâncias, o mesmo teste foi então aplicado nos dados logaritmizados, apresentando p igual a 0,12, validando a hipótese de igualdade das variâncias.

Em seguida, para os dados logaritmizados, o teste estatístico para dados paramétricos ANOVA também apresentou p significativo, com valor de 0,008, possibilitando a análise post-hoc, através do teste de Tukey, cujos resultados estão descritos na tabela abaixo:

Tabela 6 – Teste de Tukey

Tempo (segundos)	Concentração Log média
0	4,2904 A
60	3,6617 AB
120	2,4071 B
240	2,5357 B

Fonte: Autoras.

* Nota: médias seguidas letras iguais não diferem entre si, ao nível de 5% de significância.

A Tabela 6 comprova o anteriormente observado nas figuras 13 e 14, onde não há diferença significativa entre os tempos de 120s e 240s, sendo, portanto o tempo ótimo para desinfecção de 120s.

6 CONCLUSÃO

Conforme descrito anteriormente, o presente trabalho estudou a eficiência da desinfecção através da aplicação de radiação UV em um efluente sanitário visando a remoção de E. coli. Um parâmetro interveniente no processo de desinfecção por UV é a concentração de SS no efluente sendo, portanto, também estudado o processo de sedimentação, através da análise do decantador da ETE. Ambos os testes foram realizados em escala piloto.

Na sequência, buscando-se o pleno alinhamento com os objetivos do trabalho, tem-se primeiramente, que através das análises de variância de concentração de SS, percebeu-se o atendimento dos requisitos legais de lançamento, porém identificou-se a necessidade de intervenção no processo de decantação para se obter valores que atendam a faixa desejável de SS (entre 10 a 40mg/L), a fim de maximizar a eficiência no processo de desinfecção por radiação UV. Essas intervenções podem ter caráter operacional, tal como equalização da vazão, ou caráter construtivo, com o acréscimo de uma unidade complementar de decantação na planta operante. A intervenção de caráter construtivo foi avaliada através da análise da vazão e estimativa do cenário crítico, pelo qual se comprovou a

necessidade da mesma. Notou-se ainda que a contribuição per capita real é incompatível com o sugerido pela literatura, o que pode significar uma contribuição expressiva de águas residuárias industriais, cujas características de SS diferem significativamente do esgoto sanitário. Sendo assim, não é possível afirmar a real necessidade de dimensionamento de uma unidade complementar de decantação, uma vez que a estimativa do cenário crítico não é a mais indicada para o proposto.

Segundo dados bibliográficos a radiação UV é uma alternativa viável para a desinfecção de efluentes sanitários que apresentem características mínimas de qualidade – baixo teor de SS, e o presente trabalho contribuiu para sustentar essa afirmativa, uma vez que os ensaios foram satisfatórios para garantir a remoção de *E. coli* visando atender os padrões de qualidade consoantes ao enquadramento do corpo receptor. Observou-se ainda que dentre os tempos de exposição testados, o tempo de 120s é o mais vantajoso para concepção de um reator, uma vez que em tempos superiores não há ganho de eficiência considerável.

Além disso, a desinfecção por radiação UV, se comparada a outros processos de desinfecção tais como lagoas de maturação e cloração, apresenta-se vantajosa por não requerer grandes áreas para implantação, uma vez que não há disponibilidade no local, e por não produzir resíduos perigosos.

Recomenda-se para trabalhos futuros, reavaliar a necessidade de dimensionamento de uma unidade de decantação complementar através de outra metodologia de estimativa do cenário crítico, tal como o uso do coeficiente de retorno. Além disso, avaliar a interferência do processo operacional e as características do efluente na eficiência do decantador. Além da decantação merece cotejo técnico, a aplicação de novas tecnologias para redução da concentração de SS, tais como filtros de discos.

Sugere-se que, para avaliar a eficiência de desinfecção por radiação UV, outros fatores intervenientes no processo possam ser estudados, tais como a variação da concentração de SS no efluente, a dose, a intensidade ao longo do reator, o dimensionamento do sistema, a aplicação do teste em fluxo contínuo, a análise da viabilidade econômica, dentre outros.

REFERÊNCIAS

- ABE, Willian Paul Yuzo. Medidor de vazão para canais abertos tipo Parshall. Revista Mecatrônica Atual, São Paulo, v.3, n.19, nov./dez.2004. Disponível em: <<http://www.mecatronicaatual.com.br/educacao/1462-medidor-de-vazo-para-canais-abertos-tipo-parshall>>. Acesso em 10 out. 2014.
- AGUIAR, Alex Moura de Souza. Avaliação do emprego da radiação Ultravioleta na desinfecção de Águas com core turbidez moderadas. 2000. 114f. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/233M.PDF>>. Acesso em: 5 out. 2014.
- APHA. WEF. AWWA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21 ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9648 – Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986.
- _____. NBR 7229 – Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
- _____. NBR 12209 – Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.
- BARROS, Aidil Jesus da Silveira; LEHFELD, Neide Aparecida de Souza. Fundamentos de metodologia científica: um guia para iniciação científica. 2. ed. São Paulo: MAKRON Books, 2000.
- CHERNICHARO, Carlos Augusto Lemos (coord.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. 1. ed. Belo Horizonte: Segrac, 2001.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (Brasil). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 18 mar. 2005. Seção 1, p.5863. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conam/legiabre.cfm?codlegi=459>>. Acesso em: 19 abr. 2014.
- CONSELHO ESTADUAL DE POLÍTICA AMBIENTAL; CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (MG). Deliberação Normativa Conjunta nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 19 abr. 2014.
- CRESPO, Patrício Gallegos. Manual de projeto de estações de tratamento de esgotos. Belo Horizonte: [s.n.], 2003.
- COSTA, Bruno Passos da.; LOBO, Mara Gomes; WISBECK, Elisabeth. Avaliação da desinfecção de água por reator utilizando radiação ultravioleta. Revista de Ciências Ambientais, Canoas, v.3, n.1, p.21 a 36, 2009/ISSN19818858. Disponível em: <http://biblioteca.unilasalle.edu.br/docs_online/artigos/revista_de_ciencias_ambientais/2009_v3_n1/mglobo.pdf>. Acesso em: 04 out 2014.
- DI BERNARDO, Luiz; DANTAS, Angela Di Bernardo. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2. ed. Rio de Janeiro: Rima, 2005. 2 v.

DRESCHWEBLER, Alberto et al. Avaliação da eficiência de remoção de sólidos através de ensaio de coluna de sedimentação. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2013. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/08b50fbe3f07fac900e8911a83fea77f_507046ab1c064a8507a7085b4279efac.pdf>. Acesso em: 22 set 2014.

FREIRE, Elilde. Desinfecção do efluente da estação de tratamento de esgoto (ETE) Ipanema da cidade de Ipatinga-MG. 2007. 80 f. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais - Unileste-MG, Coronel Fabriciano, 2007.

GIL, Antônio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Antônio Carlos. Técnicas de pesquisa em economia e elaboração de monografias. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GONÇALVES, Ricardo Franci (coord.). Desinfecção de efluentes sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. Tratamento de esgotos domésticos. 5.ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

METCALF, L.; EDDY, H. P. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th ed. Boston: McGraw-Hill, 2004.

NASCIMENTO, Fernanda Gonçalves do. Avaliação da remoção de coliformes termotolerantes por meio de cloração em um efluente de uma ETE que utiliza a tecnologia de lodo ativado para tratar o esgoto bruto. 2011. 55 f. Trabalho de conclusão de curso (graduação) - Centro Universitário do Leste de Minas Gerais - Unileste-MG, Coronel Fabriciano, 2010.

OLIVEIRA, Edson Carlos Machado de. Desinfecção de efluentes sanitários tratados através da radiação Ultravioleta. 2003, 110 f. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2003. Disponível em: <<http://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/84539/197380.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 05 out 2014.

ORIGEM da palavra. Esgoto. Disponível em: <<http://origemdapalavra.com.br/site/palavras/esgoto/>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

PICCOLO, Maria Alice Mochel; PINTO, Carlos Alberto; TEIXEIRA, Edmilson Costa. Correlação entre sólidos em suspensão, cor e Turbidez para água captada no rio Jucu – ES. 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/brasil20/ii-053.pdf>>. Acesso em: 04 out. 2014.

SPERLING, Marcos von. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2. ed. rev. Belo Horizonte: UFMG, 1996. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; 1).

_____. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. ed. rev. Belo Horizonte: UFMG, 2005. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; 1).

_____. Lodos ativados. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2002. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; 4).

_____. Princípios básicos do tratamento de esgotos. Belo Horizonte: UFMG, 1996. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias; 2).

Capítulo 9



10.37423/230307384

O USO DA ELETROMIOGRAFIA DE SUPERFÍCIE É VIÁVEL PARA A RETROALIMENTAÇÃO DE UMA PRÓTESE DE JOELHO ATIVA?

THANYZE ALICE VICENTINI ZOCCOLI

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

RAFAELLA CARVALHO DA SILVA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

CAMILA CADENA DE ALMEIDA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

BRUNA DA SILVA SOUSA

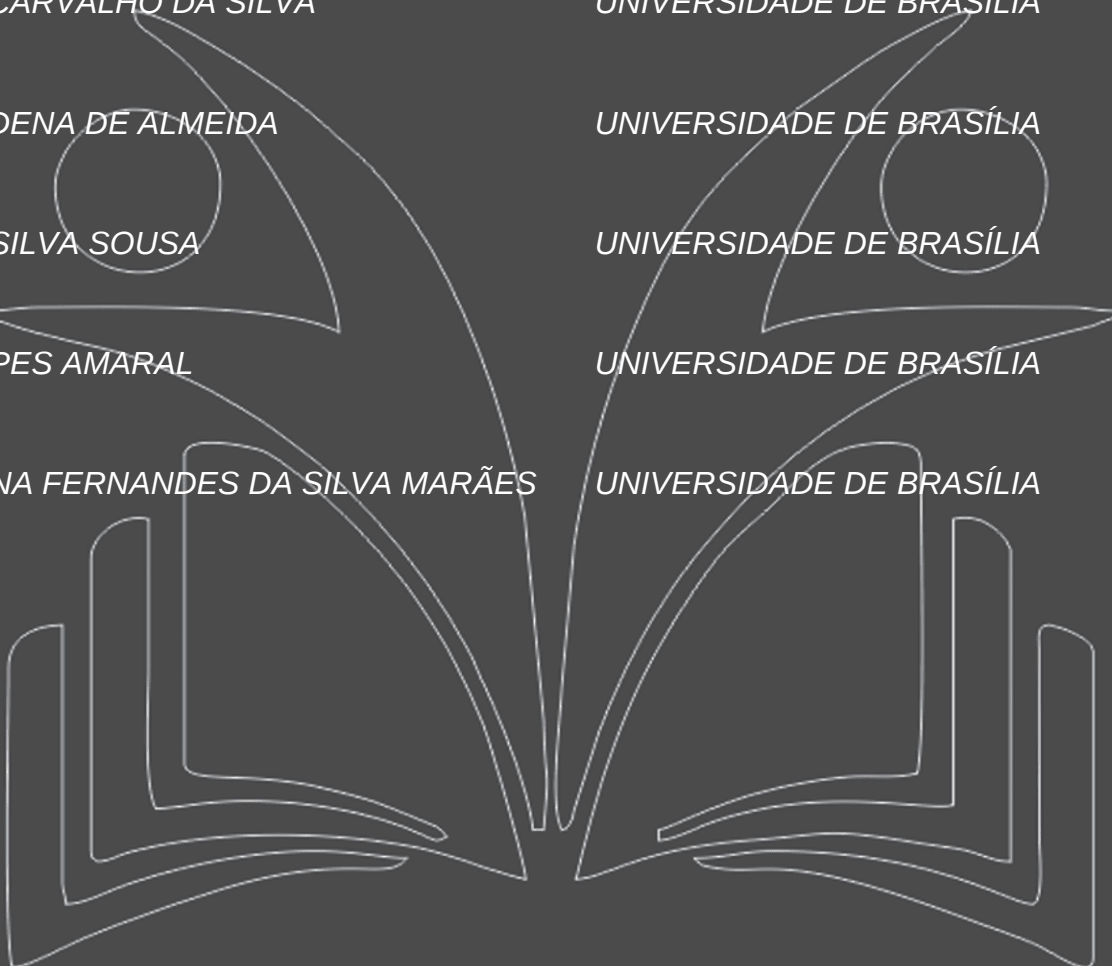
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

THIAGO LOPES AMARAL

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

VERA REGINA FERNANDES DA SILVA MARÃES

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA



Resumo: Nos últimos anos, o interesse na análise de sinais de eletromiografia de superfície integradas ao socket de amputados de membros inferiores tem aumentado. Entretanto, registros adequados são de grande desafio para pesquisadores e clínicos. Esse artigo tem o objetivo de apresentar uma revisão sistemática a respeito da viabilidade do uso da EMG de superfície quando utilizada para alimentar uma prótese ativa de joelho. Com esse propósito, foram pesquisadas as bases de dados MEDLINE®, SciELO®, BVS®, PEDro®, ProQuest®, Periodicos.capes® e ISI®. De uma análise inicial de 173 trabalhos, apenas dez completaram os critérios de inclusão. Após a análise dos estudos, foi observado que a eletromiografia se mostra efetiva para o controle neural de próteses, já que os sinais eletromiográficos são capazes de preceder o início dos movimentos e também podem ser associados a sensores mecânicos em caso de situações imprevisíveis.

Palavras-chave: Eletromiografia, amputados transfemorais.

INTRODUÇÃO

A eletromiografia (EMG) é um procedimento de registro, avaliação e monitorização das atividades elétricas nas membranas excitáveis de células musculares, atividade na unidade motora e nervos locais, podendo ser verificados de forma muscular isoladas ou em grupamentos musculares [1]. O registro da eletromiografia é descrito através da fase de entrada (eletrodos em contato com a pele captam potencial de ação dos músculos em contração), processamento (ampliação do sinal elétrico) e por fim fase de saída (conversão dos sinais elétricos em sinais visuais e sonoros), sendo que a mais de 68 anos a EMG vem sendo validada e consagrada através de estudos experimentais em relação a verificação de função muscular [2].

O uso da EMG de superfície como feedback para próteses ativa apresenta representatividade quantitativa e qualitativa, chegando a aproximadamente 270 artigos científicos na Biblioteca Virtual em Saúde (BSV/BIREME) principalmente para próteses de membros superiores, porém quando relacionado ao controle neural correlacionados aos membros inferiores apresenta escassez em artigos científicos, correspondendo a aproximadamente 30 artigos na mesma base de dados [3]. Entretanto, os estudos existentes evidenciam bons resultados no uso da eletromiografia como retroalimentação ativa positiva para próteses de membros ativa, devido à amplificação do nível de saída do sistema homem – prótese [4].

Deste modo o uso da EMG nos grupamentos musculares inferiores é de extrema importância devido ao papel destes membros na postura, locomoção e sustentação do corpo [5]. Essas variáveis são alteradas funcionalmente com o uso da prótese ativa, em que essa instrumentação permite a verificação e planejamento de possíveis intervenções terapêuticas no amputado a fim de recuperação e adaptação a prótese. A EMG é um parâmetro que permite modificações no âmbito biomecânico, pois os sinais eletromiográficos indicam a qualidade do movimento e amplitude no membro amputado indicando a necessidade de alterações, estas que podem ser: no material da prótese, no apoio ou inclusão isquiática no socket, válvulas de sucção, travas, entre outros aspectos [6]. Visto que a eletromiografia apresenta grande aplicabilidade científica em avaliações de função muscular a partir da atividade elétrica, vê-se necessário evidenciar segundo a literatura o uso da mesma para avaliação de prótese ativa em amputações de membro inferior e sua viabilidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

ESTRATÉGIAS DE PESQUISA

A procura nas bases eletrônicas de dados foi realizada nos meses de março e abril de 2014. Para essa revisão foram utilizados artigos científicos que tratavam da utilização do sistema de eletromiografia de superfície para a alimentação dos circuitos de uma prótese ativa de joelho. As bases de dados usadas como referências para a busca foram: MEDLINE® (Pubmed), LILACS® (Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde), SciELO® (Scientific Electronic Library Online), BVS® (Biblioteca Virtual em Saúde), PEDro® (Physiotherapy evidence database), ProQuest®, Periodicos.capes® e ISI® (Web of science) e as palavras chaves, utilizadas de forma combinada: amputados transfemorais e eletromiografia; transfemoral amputees and Electromyography;

CRITÉRIOS DE INCLUSÃO

Os artigos identificados pela estratégia de pesquisas foram avaliados, obedecendo rigorosamente aos critérios: a) ano de publicação inferior a 10 anos (após 2004); b) abordar exclusivamente sujeitos amputados transfemorais; c) fazer a descrição dos filtros utilizados na captação do sinal, frequência de amostragem e a posição dos eletrodos; d) utilizar prótese ativa de joelho. Tais estratégias foram tomadas com o intuito de maximizar os resultados da pesquisa, uma vez que foi constatada escassez de literatura. Os estudos que não obedeceram aos critérios supracitados foram excluídos.

SELEÇÃO DOS ESTUDOS

Inicialmente dois pesquisadores realizaram as buscas de forma independente, em seguida foi feita a leitura dos resumos dos artigos selecionados e posteriormente do texto completo, finalmente na fase final os remanescentes foram incorporados em uma única tabela em acordo com ambos.

RESULTADOS

A figura 1 descrever as etapas da pesquisa bibliográfica. A busca resultou em um total de 173 trabalhos (36 na MEDLINE®, 7 na SciELO®, 3 na BVS®, 6 na PEDro®, 53 na ProQuest®, 51 na Periodicos.capes® e 17 na ISI®). Em uma etapa inicial foram excluídos: 67 artigos por não tratarem do tema da pesquisa, 25 por apresentarem títulos repetidos, 4 por serem publicados antes de 2004, 9 por tratarem de prótese osteointegrada, 12 por abordarem amputados transtibiais e 2 por não ter sido possível o

acesso ao texto completo. Após avaliação dos textos completos, outros 110 foram excluídos por não estarem em acordo com o objetivo desse estudo.

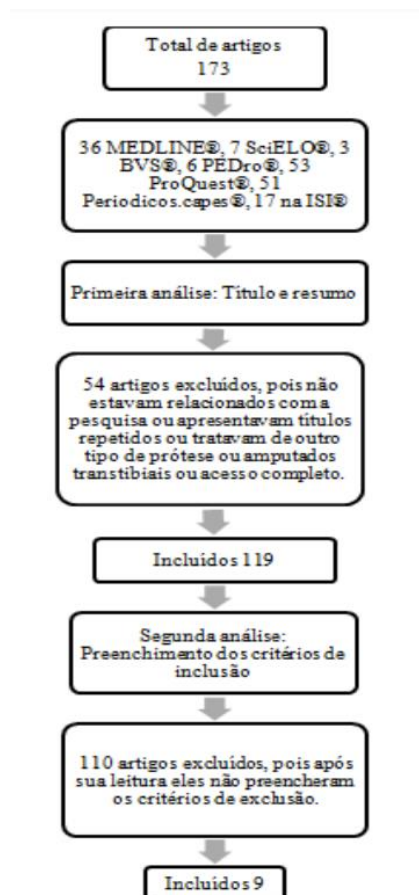


Fig.1: Fluxograma da pesquisa

Pesquisas recentes têm demonstrado resultados promissores no uso das informações da EMG como fonte de controle neural, provenientes dos músculos remanescentes à amputação para o controle voluntário de próteses artificiais, elas permitem ao usuário a operação intuitiva da prótese baseada na sua própria intenção [7].

Os resultados dos estudos selecionados são apresentados na tabela 1 (anexo). Houve uma predominância pela utilização dos tradicionais eletrodos bipolares, assim como da frequência de amostragem de 1000 Hz e o filtro passa-banda de 20-500 Hz com pequenas variações nesses valores, a quantidade de canais foi de 10 a 16. A população de estudo não ultrapassou 10 voluntários transfemorais, tornam-se difícil de estabelecer um padrão de ativação ou configuração.

Quanto ao posicionamento dos eletrodos a distribuição foi discrepante, havendo grande variação entre a quantidade e seleção dos músculos remanescentes e apenas um estudo com o uso de eletrodos em matriz foi encontrado na revisão, porém como não preencheu os critérios de inclusão,

não foi integrado na revisão. É interessante ressaltar também os estudos que realizaram a aquisição do sinal de acordo com a intensidade da ativação muscular captada pela EMG, uma abordagem diferente e promissora de acordo com seus autores [8, 15].

Diversos foram os protocolos de avaliação, tanto estáticos quanto dinâmicos na tentativa de simular situações rotineiras na vida de um amputado transfemoral, caminhada a nível do solo, obstáculos, subida e descida de rampas e escadas.

Com relação à efetividade da EMG como fonte de controle neural intencional de uma prótese de joelho ativa, observa-se um novo ramo de pesquisa ascendente em volume e qualidade de estudos, com maior quantidade de trabalhos a partir do ano de 2011. Nessa revisão podemos verificar bons resultados, tanto para reconhecimento de diferentes padrões de marcha quanto para variações de velocidade quanto para adaptações rápidas, como mudanças de velocidade e angulação. Somente um artigo relatou que a posição angular do membro contralateral era superior à eletromiografia, todavia também não foi incluído na revisão por não atender aos critérios de inclusão.

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Recentemente, os avanços em próteses para membro inferior controladas por microcomputador têm se revelado promissores para melhorar a locomoção e a qualidade de vida dos indivíduos com amputação de membro inferior. No entanto, a dinâmica dessas próteses ainda representa alguns desafios por depender de fatores como a intenção de locomoção do usuário, o tipo de tarefa e os diferentes níveis de solo [8,9,10].

Diante da necessidade de controle neural para próteses de membro inferior, Huang et al. [11] realizaram um estudo com o objetivo de investigar com que precisão a eletromiografia de superfície (EMG) combinada com reconhecimento de padrões (PR) poderiam identificar os modos de locomoção dos usuários e concluíram que o sistema de EMG PR dependente de fase foi capaz de reconhecer com precisão sete modos de tarefas. No entanto, com o intuito de melhorar a confiabilidade do reconhecimento de padrões (PR), foi desenvolvido um módulo adicional denominado de sensor de detecção de falha do módulo (SFD). Este módulo não só acompanhou as gravações dos eletrodos EMG individuais, mas recuperou o desempenho da classificação do sistema quando um ou mais sinais foram alterados [12].

Geralmente, as próteses desenvolvidas controlam a impedância do joelho em cada fase da marcha. Porém, como a dinâmica e a cinemática da articulação do joelho variam entre os diferentes modos de

locomoção, é necessário o desenvolvimento de próteses controladas pelo próprio utilizador, captando a função pretendida e não fases isoladas [9,10]. Nesse sentido, Huang e colaboradores [9] ressaltam que os sensores mecânicos respondem aos movimentos do paciente, enquanto os sinais eletromiográficos precedem o início dos movimentos e podem ser usados para ajudar a prever as transições de tarefas. Dessa forma, os autores propuseram o desenvolvimento de um algoritmo baseado na fusão neuromuscular para continuamente reconhecer uma variedade de modos de locomoção, e concluíram que uma interface neuromuscular-mecânica e um vetor de suporte produziram 99% de acurácia na fase de apoio e 95% na de balanço. Zhang et al. [8] testaram em tempo real um sistema de reconhecimento de intenção desenvolvido para próteses baseado na fusão neuromuscular-mecânica e revelaram que o sistema concebido reconheceu o modo de execução da locomoção com alta precisão, além de ter previsto o modo de transição do paciente com amputação transfemoral. Nesse contexto, Du et al. [13] realizaram um estudo para melhorar ainda mais o desempenho de um sistema de locomoção por meio da introdução de informações sobre o ambiente de caminhada. Os autores mostraram que o sistema de reconhecimento associado ao conhecimento do ambiente superou significativamente o sistema sem a informação prévia.

Hoover et al. [10] propuseram o desenvolvimento e demonstração experimental de um sistema baseado em sinais de EMG de superfície para o controle direto de uma prótese transfemoral. A interface de controle experimentalmente implementada conferiu ao sujeito amputado um controle direto do torque do joelho, a partir da eletromiografia de superfície de músculos da coxa residual e da impedância do joelho cujo os interruptores de ajuste eram baseados no contato do pé com o solo. A força foi efetivamente modulada através da EMG durante a fase de apoio aproveitando a fase de balanço. Na fase de balanço a influência da EMG em atingir a trajetória desejada foi considerada modesta. Segundo Wentink et al. [14], a iniciação da marcha em amputados transfemorais é diferente de indivíduos não amputados, diante da falta de estabilidade e desprendimento da prótese. Assim, os autores estudaram a viabilidade de detecção da iniciação da marcha em tempo real por meio da EMG dos músculos e dados de sensores inerciais. A EMG foi capaz de antecipar a etapa de retirada dos dedos e choque do calcanhar 130-160 ms antes, o que resulta em tempo hábil para o controle da prótese.

No entanto, Zhang e colaboradores [15] ressaltam que a detecção de tropeços é tão importante quanto o sistema reconhecer a intenção de locomoção do usuário. Assim, os autores realizaram um estudo cujo objetivo foi selecionar possíveis informações de tropeções que reagissem de maneira

confiável. Os resultados mostraram que a aceleração do pé protético detectou com precisão os eventos de tropeços testados 140-240 ms antes do momento crítico da queda, contudo, devido as altas taxas de alarmes falsos provocados pelo detector, fez-se necessária a combinação dos sinais eletromiográficos à aceleração do pé, o que reduziu as taxas, mas comprometeu o tempo de resposta.

Além disso, Ha et al. [16] afirmam que o amputado precisa ser capaz de controlar a prótese ativa durante uma atividade sem descarga de peso. Para tal, apresentaram um método para fornecer o controle voluntário de uma prótese ativa de joelho durante atividade de não-sustentação de peso, como sentar. O movimento voluntário da articulação do joelho é comandado pelo usuário em função dos sinais eletromiográficos captados dos músculos quadríceps e isquiotibiais do membro residual. Como resultado, os autores relatam que a implementação da EMG integrada ao socket pode promover um controle efetivo da amplitude de movimento do joelho em atividades sem descarga de peso.

Diante do exposto, a eletromiografia se mostra efetiva para o controle neural de próteses, visto que os sinais eletromiográficos podem preceder o início dos movimentos, o que auxilia na previsão das transições de tarefas. Além disso, quando associada aos sensores mecânicos (fusão neuromuscular-mecânica) pode melhorar o desempenho do usuário em terrenos irregulares, facilitando a locomoção e melhorando a qualidade de vida dos indivíduos amputados do membro inferior. No entanto, ainda são necessários novos estudos para que a dinâmica dessas próteses seja aprimorada e seus desafios tornem-se cada vez menores.

AGRADECIMENTOS:

Ao apoio recebido pela Universidade de Brasília (UnB), pela CAPES e pelo CNPq.

REFERÊNCIAS

- [1] O'Sullivan SB; Schmitz, Thomas J. (Ed.). Fisioterapia: avaliação e tratamento. 5. ed. São Paulo: Manole, 2010
- [2] Gertz LC; Loss JF; Ribeiro J; Zaro MA. Sensibilidade da eletromiografia na medição de variação de força. p. 146-151. VII CONGRESSO BRASILEIRO DE BIOMECÂNICA, 1997, Campinas. Anais do VII Congresso Brasileiro de Biomecânica. Campinas: Sociedade Brasileira de Biomecânica, 1997.
- [3] Huang H, Kuiken TA, Lipschutz R.D. A Strategy for Identifying Locomotion Modes Using Surface Electromyography. IEEE Trans Biomed Eng. 2009 January ; 56(1): 65–73.
- [4] Andrade, FS (2000). Avaliação da atividade eletromiográfica durante a execução de tarefas de torque isométrico, Tese de mestrado em Educação Física, Departamento de Pós- Graduação Stricto Sensu em Educação Física, Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 56p.
- [5] Hull MI, Jorge M. A method for biomechanical analysis of bicycle pedalling. J. Biomechanics. v. 18, n. 9, p. 631 – 644. 1985.
- [6] Ortolan RL, Cunha FL, Carvalho DCL, Franca JEM, Maria ASLS, Silva OL . Tendências em biomecânica ortopédica aplicadas à reabilitação. Acta ortop. bras.2001 Sep;9(3): 44-58. Available from: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141378522001000300007&lng=en.
<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-78522001000300007>.
- [7] Hefferman GM, Zhang F, Nunnery MJ e Huang H. Integration of surface electromyographic sensors with the transfemoral amputee socket: A comparison of four differing configurations. Prosthet Orthot Int. 2014; 1-8.
- [8] Zhang F,Nunnery M, Huang H. Real-time Imple-mentation of an Intent Recognition System for Arti-ficialLegs.ConfProcIEEEEngMedBiolSoc.2011;2011:29973000.doi:10.1109/IEMBS.2011.6090822.
- [9] Huang H, Zhang F, Hargrove LJ, Dou Z, Rogers DR, Englehart KB. Continuous Locomotion-Mode Identifi-cation for Prosthetic Legs Based on Neuromuscular–Mechanical Fusion. IEEE Trans Biomed Eng. 2011 October;58(10):2867–2875. doi:10.1109/TBME.2011.2161671.
- [10] Carl D. Hoover, George D. Fulk, and Kevin B. Fite. Stair Ascent With a Powered Transfemoral Prosthesis
Under Direct Myoelectric Control. IEEE/ASME TRANSACTIONS ON MECHATRONICS, VOL. 18, N. 3, 2013.
- [11] Huang H, Kuiken TA, Lipschutz RD. A Strategy for Identifying Locomotion Modes Using Surface Electro-myography.IEEETransBiomedEng.2009January;56(1):6573.doi:10.1109/TBME.2008.2003293.
- [12] Huang H, Zhang F, Sun YL, He H. Design of a ro-bust EMG sensing interface for pattern classification. J Neural Eng. 2010 October ; 7(5): 056005. doi:10.1088/1741-2560/7/5/056005.

- [13] Du L, Zhang F, Liu M, Huang H. Toward Design of an Environment-Aware Adaptive Locomotion-ModeRecognitionSystem.IEEETransBiomedEng.2012October;59(10):27162725.doi:10.1109/TBME.2012.2208641
- [14] Wentink EC, Beijen SI, Hermens HJ, Rietman JS, Veltink PH. Intention detection of gait initiation using EMG and kinematic data. *Gait & Posture* 37 (2013) 223–228.
- [15] Zhang F, D’Andrea SE, Nunnery MJ, Kay SM and Huang H. Towards Design of a Stumble Detection Sys-tem for Artificial Legs. *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, VOL. 19, NO. 5, OCTOBER 2011
- [16] Ha KH, Varol HA and Goldfarb M. Volitional Con-trol of a Prosthetic Knee Using Surface Electromyogra-phy. *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, VOL. 58, NO. 1, JANUARY 2011.

Autores (ano)	Objetivo	Materiais	Métodos	Conclusão
Huang et al. 2009	Investigar o uso da eletromiografia de superfície (EMG), combinada com reconhecimento de padrões (PR) para identificar os modos de locomoção do usuário.	E: bipolares; FA: 1440 Hz; F: 25 – 500 Hz; N: 16 canais.	A: 10 indivíduos, sendo 2 ATF; PE: nos músculos: GX, GM, SO, RF, VM, VL, GT e BF. PA: Os indivíduos foram avaliados durante a marcha.	O sistema de EMG PR dependente de fase foi capaz de reconhecer com precisão sete modos de tarefas.
Huang et al. 2010	Projetar um sensor de detecção de falha do módulo (SFD), na interface do sensor para fornecer um padrão de classificação EMG confiável.	E: bipolares ativos; FA: 1440 Hz; F: 20 – 450 Hz; N: 10 e 11 canais.	A: 5 indivíduos não amputados e 1 ATF unilateral; PE: não amputados: GX, GM, SA, RF, VL, VM, GR, BF, ST; no amputado: AM; PA: Classificação de transições entre diferentes modos de locomoção, com e sem o módulo SFD.	O sensor de detecção de falhas manteve a classificação mesmo quando 1 sinal era prejudicado e recuperou 20% quando 4 foram danificados.
Zhang et al. 2011	Selecionar possíveis informações de tropeços que reagissem de maneira confiável e acurada e também identificar duas abordagens diferentes.	E: bipolares; FA: 1000 Hz; F: 25 – 450 Hz; N: 10 canais.	A: 7 ATF PE: Os músculos residuais da coxa foram monitorados de acordo com o local de maior intensidade do sinal EMG. PA: Simulação de tropeços e escorregões	A combinação da EMG com a aceleração do pé reduziu os alarmes falsos, porém comprometeu o tempo de resposta.
Zhang et al. 2011	Testar, em tempo real, um sistema de reconhecimento de intenção desenvolvido para próteses.	E: bipolares; FA: 1000 Hz; F: 25 – 450 Hz; N: 10 canais.	A: 1 paciente com ATF; PE: Os músculos residuais da coxa foram monitorados de acordo com o local de maior intensidade do sinal EMG. PA: Simulação de caminhada a nível do solo, e subir e descer escadas.	O sistema concebido pode reconhecer o modo de execução da locomoção com alta precisão, além de prever o modo de transição do paciente com uma amputação TF.
Ha et al. 2011	Apresentar um método de controle voluntário de uma prótese ativa durante uma atividade sem descarga de peso.	E: Eletrodos ativos integrados em uma socket; FA: 1000 Hz; F: 25 – 450 Hz; N: 10 canais.	A: 3 ATF PE: Isquiotibiais e quadríceps. PA: 4 trajetórias com diferentes velocidades que exigiam mudanças rápidas na angulação do joelho.	A implementação da EMG integrada a socket pode promover um controle efetivo da ADM do joelho em atividades sem descarga de peso.
Huang et al. 2011	Desenvolvimento de um algoritmo baseado na fusão neuromuscular para continuamente reconhecer uma variedade de modos de locomoção.	E: Eletrodos ativos integrados em uma socket; FA: 1000 Hz; F: 20 – 420 Hz; N: 16 canais.	A: 5 ATF PE: GX, GM, RF, SA, VL, VM, GR, BFL e BFC, ST, AL. PA: 6 diferentes modos de caminhada e 5 tipos diferentes de transição.	Uma interface neuromuscular- mecânica e um vetor de suporte produziram 99% de acurácia na fase de apoio e 95% na de balanço.
Du et al. 2012	Apresentar uma nova abordagem baseada em EMG que habilita o controle da prótese diretamente com a ativação dos seus músculos residuais.	E: bipolares; FA: 1000 Hz; F: 20 – 420 Hz; N: 10 canais.	A: 9 ATF PE: ST, RF, VL, VM, GR, BF e AL, GX e GM PA: Andar ao nível do solo, subir escadas e rampa.	O sistema sensível ao ambiente aplicado a próteses baseado em EMG é promissor e robusto.
Wentink et al. 2013	Determinar se o início da marcha pode ser detectado através da EMG através dos músculos e/ou sensores inerciais.	E: Eletrodos adesivos; FA: 2018 Hz; F: 20 – 500 Hz; N: 16 canais.	A: 10 voluntários PE: GX, GM, TFL, RF, VL, BF, AL, EE, ST, TA, SO, GT. PA: Acionamento do sincronizador e em seguida caminhar.	A EMG foi capaz de antecipar a etapa dedos- fora e choque do calcanhar 130-160 ms antes, isso deixa um tempo hábil para o controle da prótese.
Hoover et al. 2013	Apresentar resultados preliminares de um controle mioelétrico desenhado para subir as escadas de maneira recíproca.	E: Eletrodos bipolares; FA: 1000 Hz; F: 20 – 450 Hz; N: 16 canais.	A: 1 ATF PE: RF, VL, VM, BF e ST. PA: Acionamento do sincronizador e em seguida caminhar.	A força foi efetivamente modulada através da EMG durante a fase de apoio aproveitando a fase de balanço. Na fase de balanço a influência da EMG em atingir a trajetória desejada é modesta.

Legenda: ATF= amputados transfemorais; E= eletrodos; FA= frequência de amostragem; F= filtro; N= número de canais; A= amostra; PE= posição dos eletrodos; PA= protocolo de avaliação; Músculos: AL= adutor longo; BF= bíceps femoral; EE= eretores da espinha; GM= glúteo médio; GT= gastrocnêmio; GR= grácil; GX= glúteo máximo; RF= reto femoral; ST= sartório; SO= sóleo; TA= tibial anterior; VM= vasto medial e VL= vasto medial.

Capítulo 10



10.37423/230307427

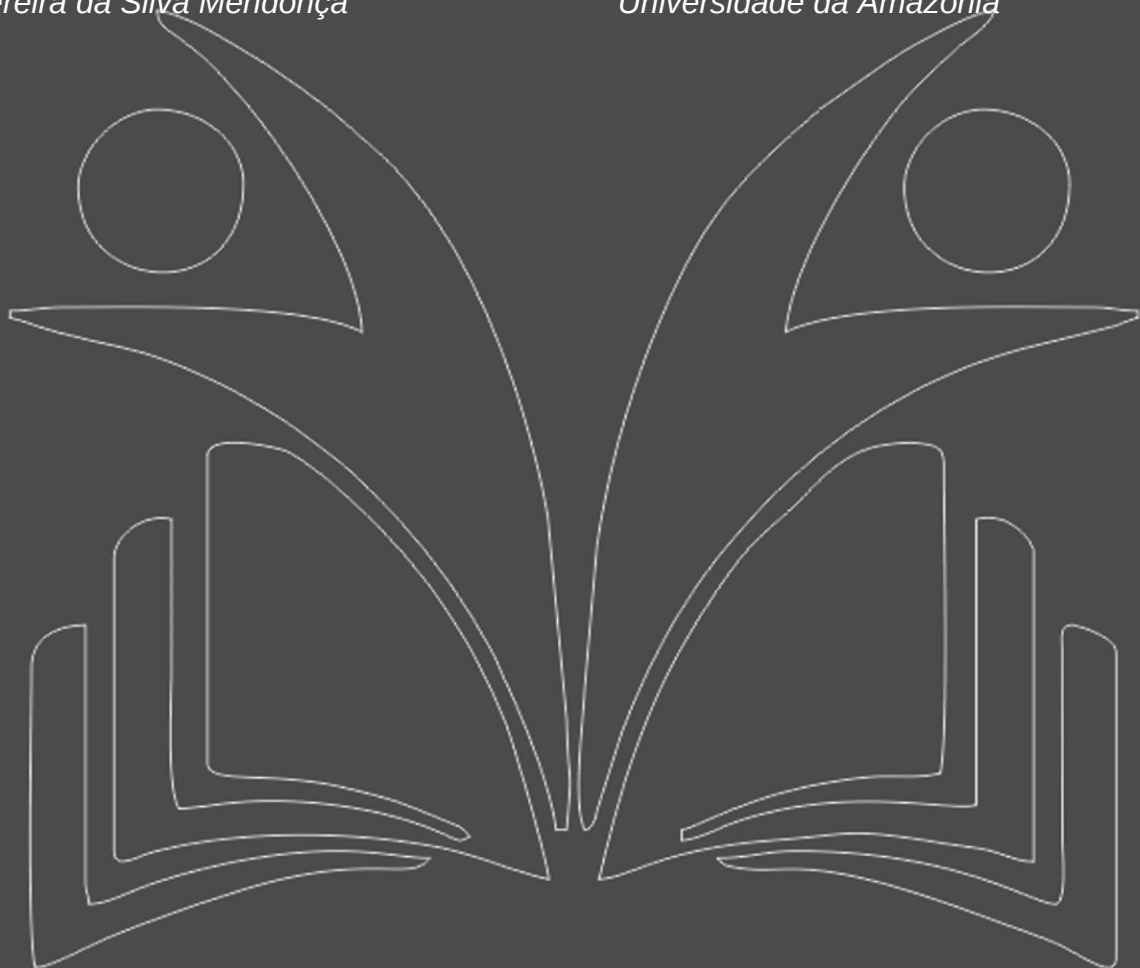
COMPORTAMENTO ESTRUTURAL DE ANCORAGENS PRÉ-INSTALADAS EM ELEMENTOS DE CONCRETO ARMADO

Ivana Beatriz Antunes Pinheiro

Universidade da Amazônia

Solange Pereira da Silva Mendonça

Universidade da Amazônia



Resumo: A ancoragem é um dispositivo mecânico que tem como função estabelecer uma ligação entre dois elementos estruturais, proporcionando uma elevada resistência de carga, que pode ser submetida a esforços de tração, cisalhamento ou uma combinação entre elas, onde suas principais aplicações ocorrem em ligações de estruturas mistas de aço-concreto, na fixação de elementos de reforço e em conexões de elementos pré-moldados de concreto. Existem vários tipos de ancoragens, que podem ser pré ou pós-instaladas, neste estudo foram analisadas somente ancoragens pré-instaladas do tipo pino com cabeça submetidas à tração. Fez-se uma revisão bibliográfica afim de demonstrar, avaliar a influência da presença de estribos na região da superfície de ruptura na resistência ao arrancamento de conectores de aço com cabeça pré- instaladas com ruína no cone de concreto. Isto foi feito através de um banco de dados com oitenta resultados experimentais de ensaios de tração de conectores pré-instalados em concreto obtido em uma vasta procura na literatura científica. fica evidente que a presença de estribos contribui significativamente no incremento de força resistente na ruptura pelo cone de concreto.

Palavras-chave: Ancoragem. Conectores de aço. Arrancamento. Estribos. Resistência.

1-INTRODUÇÃO

Conectores de aço, ou pinos de ancoragem, são dispositivos metálicos que podem ter ancoragem mecânica com função de estabelecer uma ligação entre dois elementos estruturais, proporcionando um elevado desempenho quanto à resistência (Figura 1). Estes podem ser submetidos a esforços de tração, cisalhamento ou uma combinação entre eles. Em diversas situações na construção civil é necessário o uso destes dispositivos onde as principais aplicações ocorrem na ligação de estruturas mistas de aço-concreto, em reforço estrutural e em conexão de elementos pré-moldados de concreto (Figura 2).

Figura 1: Conectores de aço



Fonte: Plataforma de vendas digital Soluções Industriais, 2019.

Figura 2: Principais aplicações dos conectores de aço na construção civil



a) estruturas mistas de aço-concreto
(DOCPLAYER, 2019¹)



b) reforço estrutural
(SCHENKEL, 2019)²



c) elementos pré-moldados
(PROTENDIDOSDYWIDAG, 2019)³

Segundo Fontenelle (2011), os sistemas de instalação dos conectores podem ser através de inserção deles no concreto antes da concretagem, chamados de pré-instalados (Figura 3); ou fixados posteriormente, pós-instalados. Existem vários tipos de ancoragens, dentre as pré- instaladas tem-se os parafusos de cabeça, pinos com cabeça e barras rosqueadas; as pós- instaladas podem ser ancoragens de expansão, de segurança ou de adesão química.

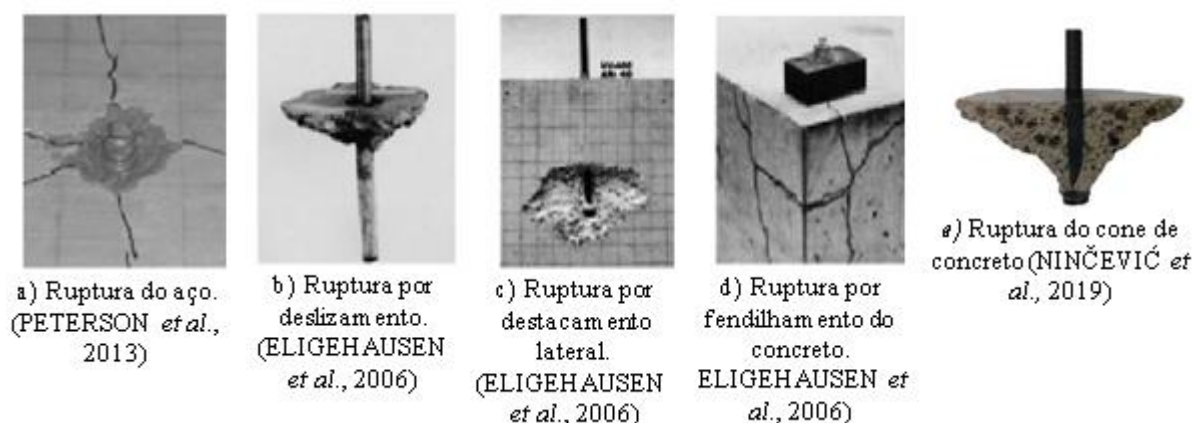
Figura 3: Ancoragem pré-instalada - “Grauteamento”



Fonte: Weber, produtos quartzolit (2017)⁴

Costa (2016) diz ainda que a resistência à tração de ancoragem é influenciada por diversos fatores, sendo os principais: resistência à compressão do concreto (f_{ck}), distância de ancoragem em relação às bordas livres do elemento de concreto, comprimento de ancoragem efetivo (h_{ef}), razão do comprimento de ancoragem efetivo em relação à distância das bordas, espaçamento entre pinos de ancoragem existentes em determinado grupo (s) e sistema de instalação.

Quando solicitada à tração as ancoragens pré-instaladas podem sofrer cinco modos de ruptura distintos: ruptura do aço; ruptura por deslizamento; destacamento lateral; fendilhamento do concreto; ou a ruptura do cone do concreto (Figura 4). Para conectores pré-instalados distantes das bordas de elementos de concreto armado, a ruptura do cone de concreto é o mais preocupante por apresentar um modo de ruptura frágil. (FUCHS et al., 1995).

Figura 4: Modos de ruptura de conectores submetidos à tração.

Quando os conectores estão posicionados nas proximidades de estribos, os estribos podem ser solicitados caso sejam cruzados pela superfície de ruptura do cone de concreto. Segundo SHARMA, ELIGEHAUSEN e ASMUS (2017), em caso de baixo comprimento de ancoragem das pernas dos estribos solicitados pelo cone de concreto, os estribos podem vir a ruína por falha de aderência resultando em menor resistência do que o seu potencial. E em casos de estribos com comprimento de ancoragem relativamente maiores, os estribos podem alcançar o escoamento resultando em um incremento de ductilidade e na capacidade de ancoragem do conector de aço pré-instalado no elemento de concreto armado.

As normas internacionais, *fib* Bulletin 58 (2011) e ACI 318 (2019) atribuem que a resistência a ruptura do cone de concreto na proximidade de estribos seja considerada apenas a capacidade de ancoragem dos estribos, desconsiderando uma parcela de contribuição do concreto enquanto as recomendações do ETAG 001-1 (2013) não fazem menção a contribuição dos estribos. No Brasil não há recomendações normativas para o projeto de conectores pré- instalados. Porém, a ABECE⁵ detectou a necessidade dando início a elaboração de recomendações para conectores (lê-se chumbadores) mecânicos pré-instalados. Segundo CARMONA (2019) a elaboração de recomendações para conectores mecânicos pré-instalados será baseada na tradução/adaptação dos Anexos B e C da ETAG 001-1 (2013).

O conhecimento dos sistemas de ancoragem, principalmente da carga de ruptura, é necessário para o aprimoramento dos métodos de dimensionamentos existentes, a fim de conduzir o dimensionamento deste tipo de sistema estrutural a índices melhores de segurança e economia. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência da presença de estribos na região da superfície de ruptura na resistência ao arrancamento de conectores de aço com cabeça pré-instaladas com ruína no cone de concreto. Especificamente, este trabalho avalia a influência do espaçamento de estribos e

na área de aço dos estribos na região da superfície de ruptura, por meio da utilização de banco de dados, com oitenta resultados experimentais de conectores de aço com cabeça pré-instalados em elementos de concreto, sendo submetidos à tração com carregamento estático, tendo como modo de ruptura o cone de concreto obtido em uma vasta procura na literatura científica.

2-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Como nas considerações de projeto de conectores submetidos à tração, é adotado as medidas necessárias para que não haja a ruptura prematura, como a ruptura por deslizamento, por destacamento lateral ou por fendilhamento, o cone de concreto é geralmente utilizado como modo de ruptura de projeto, devido a isto, o conhecimento do plano de ruptura do cone de concreto é fundamental para a compreensão do comportamento e determinação da resistência à tração de conectores. Para tanto, este trabalho visa analisar apenas o comportamento estrutural de elementos de concreto armado com conectores pré-instalados com modo de ruptura do cone de concreto.

2.2.RUPTURA DO CONE DE CONCRETO

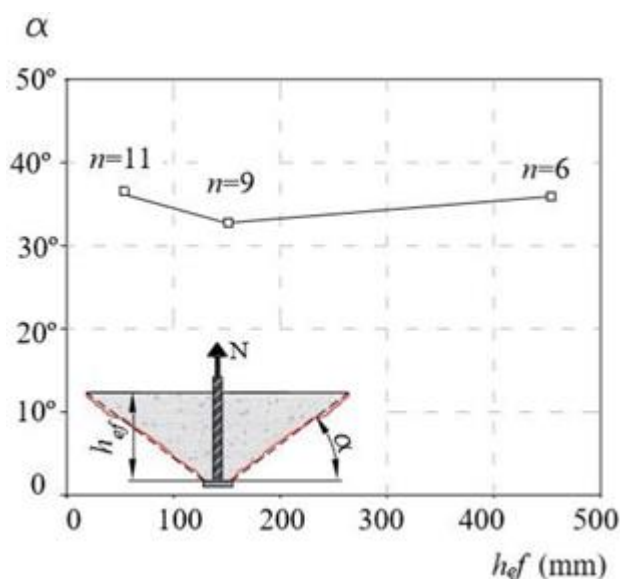
Essa ruptura é caracterizada pela formação de uma superfície de fratura com a forma aproximada à de um cone (Figura 4) que se inicia na região da cabeça, prolongando-se até a face superior do bloco de concreto. O ACI 349 (1985) utilizava um modelo de cálculo que estabelecia uma inclinação da fissura do cone de concreto (α) igual a 45°. Contudo, ELIGEHAUSEN e SAWADE (1989), ELIGEHAUSEN et al. (1992) e OZBOLT e ELIGEHAUSEN (1990), evidenciaram que a inclinação do plano de ruptura era próxima de 35°.

Figura 4: Formação do cone de concreto

Fonte: Adaptado de MEIRA, 2005.

A Figura 5 mostra o ângulo de ruptura do cone de concreto (α) em função do embutimento de ancoragem efetivo (h_{ef}). Como pode ser visto, o comprimento de ancoragem efetivo não possui influência significativa no ângulo de ruptura do cone de concreto, onde este valor é em média cerca de 33° (FUCHS et al., 1995).

Figura 5: Ângulo do cone de concreto em função do embutimento de ancoragem efetivo, sendo “n” o número ensaios experimentais,



Fonte: Adaptado de FUCHS et al. (1995)

A pesquisa de ELIGEHAUSEN e SAWADE (1989) permitiu compreender melhor a geometria e formação do plano de ruptura do cone de concreto, através da instrumentação com extensômetros elétricos especiais (tipo PML do fabricante Tokyo Sokki Comp.), onde os extensômetros foram posicionados circunferencial e perpendicular ao longo da projeção da fissura do cone de concreto, que foi verificada em testes prévios.

A carga que provocará a ruptura em forma de cone depende da resistência do concreto à tração e do tamanho da massa de concreto que pode ser mobilizada para resistir aos esforços aplicados, o aumento na profundidade de embutimento efetivo poderá aumentar o valor desta carga.

2.3.FATORES QUE INFLUENCIAM NA RESITENCIA AO ARRANCAMENTO DO CONE DE CONCRETO EM CONECTORES DE AÇO

2.3.1. RESITÊNCIA DO CONCRETO

É comum associar a resistência do cone de concreto à resistência do concreto, como a resistência à compressão (f_{ck}) e à tração (f_{ct}) do concreto. Contudo, deve ser também associada às outras propriedades importantes do concreto, como a energia da fratura (G_f) e o módulo de elasticidade (E_c). Segundo OZBOLT e ELIGEHAUSEN (1993), o módulo de elasticidade do concreto influencia consideravelmente na carga de ruptura do cone de concreto, onde o aumento da carga de ruptura do

cone de concreto é proporcional a $E_c^{2/3}$. OZBOLT e ELIGEHAUSEN (1993), através de análises numéricas, avaliaram a influência da energia da fratura do concreto (G_f) na carga de ruptura do cone de concreto, onde foi observado que, a carga de ruptura é proporcional a raiz quadra da energia da fratura do concreto ($\sqrt{G_f}$). ELIGEHAUSEN et al.

(2006) observou que $\sqrt{E_c \cdot G_f}$ pode ser substituído com precisão por $\sqrt{f_c}$, pois ambos, E_c e G_f , são proporcionais a $\sqrt{f_c}$.

2.3.2. COMPRIMENTO DE ANCORAGEM EFETIVO

O embutimento de ancoragem efetivo de conectores (h_{ef}) é um dos principais parâmetros que influenciam na carga de ruptura do cone de concreto. Conforme COSTA (2016) a carga de ruptura do cone de concreto é proporcional a $h_{ef}^{1,5}$. O fato do embutimento ser proporcional à potência 1,5 , evidencia o efeito de escala em conectores embutidos em concreto. Segundo BAZANT (1984) o efeito de escala é definido pela comparação da resistência nominal (tensão nominal na ruptura, σ_N) de estruturas geometricamente similares de diferentes tamanhos. Ainda, o efeito de escala é compreendido como dependente de σ_N , em relação ao tamanho d da estrutura, onde d é uma característica dimensional do elemento estrutural, sendo compreendido como o embutimento de ancoragem (h_{ef}) do conector e a tensão nominal na ruptura (σ_N) é a razão entre a carga de ruptura do cone de concreto (N_u) e a área do cone de ruptura na superfície do concreto (A_c). A resistência nominal do conector decresce com o aumento do embutimento de ancoragem e o efeito de escala é precisamente calculado com base na mecânica da fratura. Segundo ELIGEHAUSEN et al. (1992) o efeito de escala possui significativa influência na carga de ruptura pelo cone de concreto devido ao alto gradiente de deformação e a relativamente pequena zona de processo de fratura.

2.3.3. CONCRETO FISSURADO

Segundo COSTA (2016), há muitas situações na prática da engenharia em que na ocasião de instalação da ancoragem, devido a diversos fatores, pode ocorrer a fissuração do concreto e as evidências experimentais e numéricas disponíveis na literatura, mostram que além das variáveis anteriormente mencionadas, como o comprimento de ancoragem efetivo (h_{ef}) ou da resistência à compressão do concreto (f_{ck}), a presença dessas fissuras na região onde a ancoragem está instalada, afeta a resistência da ancoragem. Segundo ELIGEHAUSEN et al. (1992), a ruína governada pelo cone de concreto é reduzida em quase 25% para largura de trinca de 0,3mm. Além disso, dados experimentais mostram que a resistência ao arrancamento do cone de concreto em zonas fissuradas, alcançam em média

apenas 70% de sua capacidade em elementos estruturais. A diminuição de cerca de 30% na resistência ao arrancamento do cone de concreto devido a fissuras, podem estar ligadas a uma redução da intensidade das forças transferidas próximos ao plano de fissura. Essa mudança na distribuição das forças de reação, o qual as tornam não uniforme e mais concentradas nas bordas, é causada pela redução da rigidez paralela na direção da rachadura.

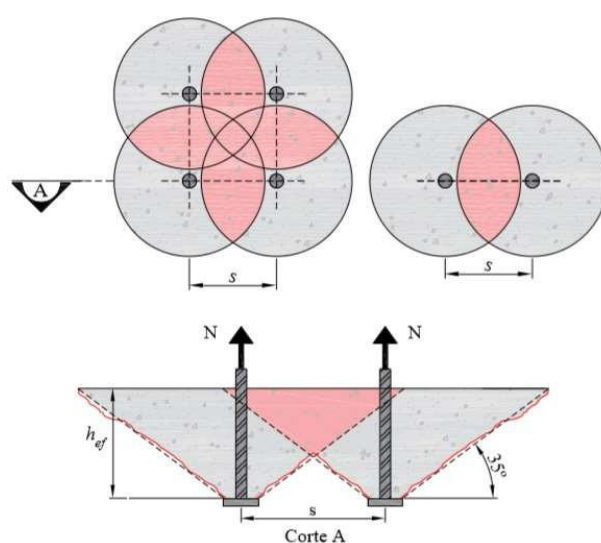
2.3.4.EFEITO DE BORDA

Para conectores próximos a uma borda livre o cone de ruptura será limitado por esta borda, reduzindo a carga de ruptura devido aos distúrbios de tensões ocasionados pela mudança de tensões radialmente simétricas ao conector em ocorrência da interrupção da projeção do cone de concreto, semelhante ao que ocorre em conectores instalados em concreto fissurado. (ELIGEHAUSEN et al., 2006)

2.5.3.EFEITO DE GRUPO

A capacidade máxima de conectores isolados é desenvolvida quando há um espaçamento suficiente entre conectores adjacentes ou borda livre do elemento de concreto, assim a capacidade final do grupo de ancoragens é reduzida devido à sobreposição dos cones de tensão de cada ancoragem (Figura 6). A ancoragem máxima é alcançada quando essas ancoragens se encontram a uma distância mínima onde os cones de tensão não se sobreponham e pode-se desenvolver a capacidade total de cada ancoragem individualmente. (COSTA, 2016)

Figura 6: Projeção do cone de ruptura com pequeno espaçamento



Fonte: COSTA, 2016.

2.5.4.PRESENÇA DE ESTRIBOS

Segundo *o fib BULLETIN 58* (2011), para aumentar a carga de ruptura do cone de concreto, é mais efetivo aumentar a dimensão de embutimento de ancoragem, porém há situações em que não é possível ter um comprimento de ancoragem efetivo suficiente para suportar os esforços de tração solicitantes, devido a limitações geométricas do elemento estrutural onde será instalado a ancoragem. Como alternativa para se obter maior resistência sem aumentar o comprimento de ancoragem é a utilização de estribos junto ao conector. (BUJNAK, BAHLEDA E FARBACK, 2014).

3-METODOLOGIA

Para avaliar a influência de estribos na resistência ao arrancamento do cone de concreto em conectores de aço com cabeça pré-instalados em elementos de concreto armado próximo de estribos, realizou-se uma vasta revisão bibliográfica sobre o tema, consultou-se artigos técnicos nacionais e internacionais e dissertações, principalmente nos tópicos relacionados aos tipos de sistemas de ancoragens, aos modos de ruptura, mecanismos de transferências de carga e aos ensaios experimentais realizados especificamente com conectores de aço com cabeça pré- instalados em elementos de concreto armado sendo submetidos à tração com carregamento estático, em que o colapso é governado pela ruptura do cone de concreto.

Evidencia-se os trabalhos realizados por Costa (2016), Henriques et al (2013), Petersen, Lin e Zhao (2013), Fontenelle (2011), Lee et al (2007) e Trautwein et al (2017). A partir desta revisão foi possível montar um banco de dados com 80 resultados experimentais de ensaios de tração de conectores pré-instalados em concreto provenientes destas cinco literaturas. Os ensaios experimentais foram realizados com um tipo de carregamento estático, em elementos de concreto não fissurados e sem influência do efeito de grupo e da proximidade de borda.

As Tabelas 1 e 2 resumem as características coletas dos ensaios, ilustradas na Figura 7. Onde: c_1 e c_2 : Camadas de Armadura de Ancoragem; d_s : Diâmetro do Parafuso (mm); h_{ef} : Comprimento de Ancoragem efetivo (mm); d_{aa} : Diâmetro da Armadura de Ancoragem (mm); N: Força (kN).

Tabela 1: Banco de dados

Autor	Espécime	d_s (mm)	$d_{s,a}$ (mm)	h_{ef} (mm)	$f_{y,s}$ (Mpa)	f_c (Mpa)	d_{sa} (mm)	$f_{y,s,a}$ (Mpa)	Nº de pernas	c_1/h_{ef}	c_2/h_{ef}	N_u		
Henriques et al (2013)	G1S1-N1	25	45	150	640	23,6	-	-	-	-	0	173		
	G1S1-N2						10	500	4	0,43		186		
	G1S1-N3						12					240,1		
	G1S1-N4											186,1		
	G1S1-N5											256,8		
	G1S2-N1	30	60	200	640	24,5	-	-	-	-	0	268,5		
	G1S2-N2						10	500	4	0,30		266,6		
	G1S2-N3						12					337,5		
	G1S2-N4											284,9		
	G1S2-N5											349,4		
	G1S3-N1	40	75	260	640	37,34	-	-	-	-	0	463,5		
	G1S3-N2						10	500	4	0,20		476,6		
	G1S3-N3						12					587,8		
	G1S3-N4											539,4		
	G1S3-N5											636,3		
Petersen, Lin e Zhao(2013)	5132011-A1	25,4	45	152,4	723	37,23	-	-	-	-	0	162,6		
	5172011-B1						19,05	413	4	0,58	0	220,7		
	5252011-D1									0,66	0	218,3		
Fontenelle (2011)	Referência 1	20	50	100	570	29,5	-	-	-	-	0	84,9		
	Referência 2					33,2						88		
	Referência 3					29,5						79,5		
	Pc(6x6)4g.6					33,2	6,3	657,5	4	0,55	0	129,55		
	Pc(6x8)4g.6									118,9				
	Pc(10x10)4g.6									118,4				
	Pc.4g.6,d.72									0,72		106,95		
	Pc.4g.6,d.110									1,10		89,15		
	Pc.4g.6,d.120									1,20		90,35		
	Pc.4g.6									0,55		120		
	Pc.4g.8					33,2	8	585,5	4	0,55	0	128,55		
	Pc.4g.10						10					142,25		
	Pc.8g.6						6,3					657,5	8	0,91
	Pc.8g.8						8	140,8						
	Pc.8g.10						10	143,9						
	Pc.12g.6						6,3	657,5	12		132,2			
	Pc.12g.8						8				131,25			
	Pc.12g.10						10				130,95			

Fonte: Autoria própria. (2019)

Tabela 2: Banco de dados

Autor	Espécime	d_s (mm)	$d_{s,a}$ (mm)	h_{ef} (mm)	$f_{t,z}$ (Mpa)	f_c (Mpa)	d_{sa} (mm)	$f_{t,z,a}$ (Mpa)	Nº de permas	c_1/h_{ef}	c_2/h_{ef}	N_u		
Lee et al (2007)	T1-A	70	152	635	980	38,5	-	-	-	-	0	2343,75		
	T1-B						-	-	-	-		2437,5		
	T1-C						-	-	-	-		2218,75		
	T1-D						-	-	-	-		2104,17		
	T4-A					42,3	25,4	980	8	0,17	0	3363,64		
	T4-B											3454,55		
	T4-C											3348,48		
	T4-D											3393,94		
	T5-A								16	0,17	0,3564	3575,76		
	T5-B											3371,21		
	T5-C											3348,48		
	T5-D											3333,33		
Trautwein et al. (2017)	PRF1	20	50	130	500	32,9	-	-	-	-	0	123,8		
	PRF2					33,4	-	-	-	130,3				
	PdR50					33,4	8	500	4	0,38		160,6		
	PdR60					32,9				0,46		145,5		
	PdR100					33,4				0,77		154,5		
	P1-4,6.3					32,9	6,3		4	0,46		136,6		
	P1-4,8.0						8					145,5		
	P1-4,10.0						10					162,8		
	P1-6,6.3						6,3		6			156,5		
	P1-6,8.0						8					165,8		
	P1-6,10.0						10					180,9		
	P1-8,6.3					33,3	6,3		8			151,4		
	P1-8,8.0						8					165,7		
	P1-8,10.0						10					171,1		
	P2-4X4,6.3						6,3					145		
	P2-4X4,8.0						8					156,9		
	P2-4X4,10.0						10					163,5		
	P2-4X6,6.3						6,3		10			161,6		
	P2-4X6,8.0						8					172,5		
	P2-4X6,10.0						10					181,5		
	P2-4X8,6.3						6,3		12			188,8		
	P2-4X8,8.0						8					146,6		
	P2-4X8,10.0						10					183		
	P2-6X6,6.3					33,4	6,3		0,9231			155,2		
	P2-6X6,8.0						8					186,2		
	P2-6X6,10.0						10					171,6		
	P2-6X8,6.3						6,3					14		194,3
	P2-6X8,8.0						8							161,3
	P2-6X8,10.0						10							176,3
	P2-8X8,6.3						6,3					16		160,1
	P2-8X8,8.0						8							176,6
	P2-8X8,10.0						10							180,5

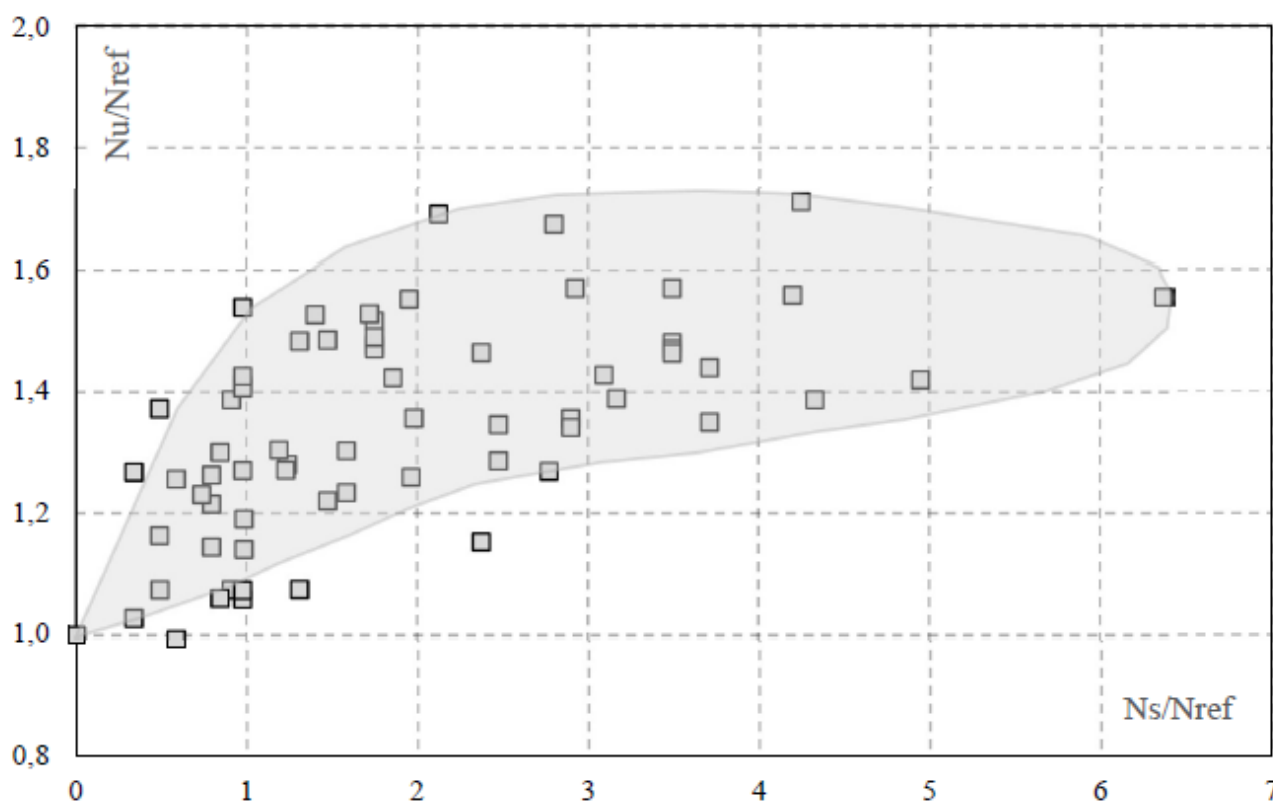
Fonte: Autoria própria. (2019)

5.1.PRESENÇA DE ESTRIBOS

A Figura 8 apresenta um resumo de todos os resultados do banco de dados. Na figura, N_u/N_{ref} representa o incremento de resistência proporcionado pela presença de estribos onde N_{ref} é a resistência do conector sem a presença de estribos. E N_s/N_{ref} é o quanto de força foi acrescentado pelos estribos proporcionalmente à N_{ref} , onde N_s é a força de escoamento dos estribos.

Observa-se que a presença de estribos pode aumentar a resistência do cone de concreto em até 70%.

Figura 8: Relação de N_u/N_{ref} X N_s/N_{ref}



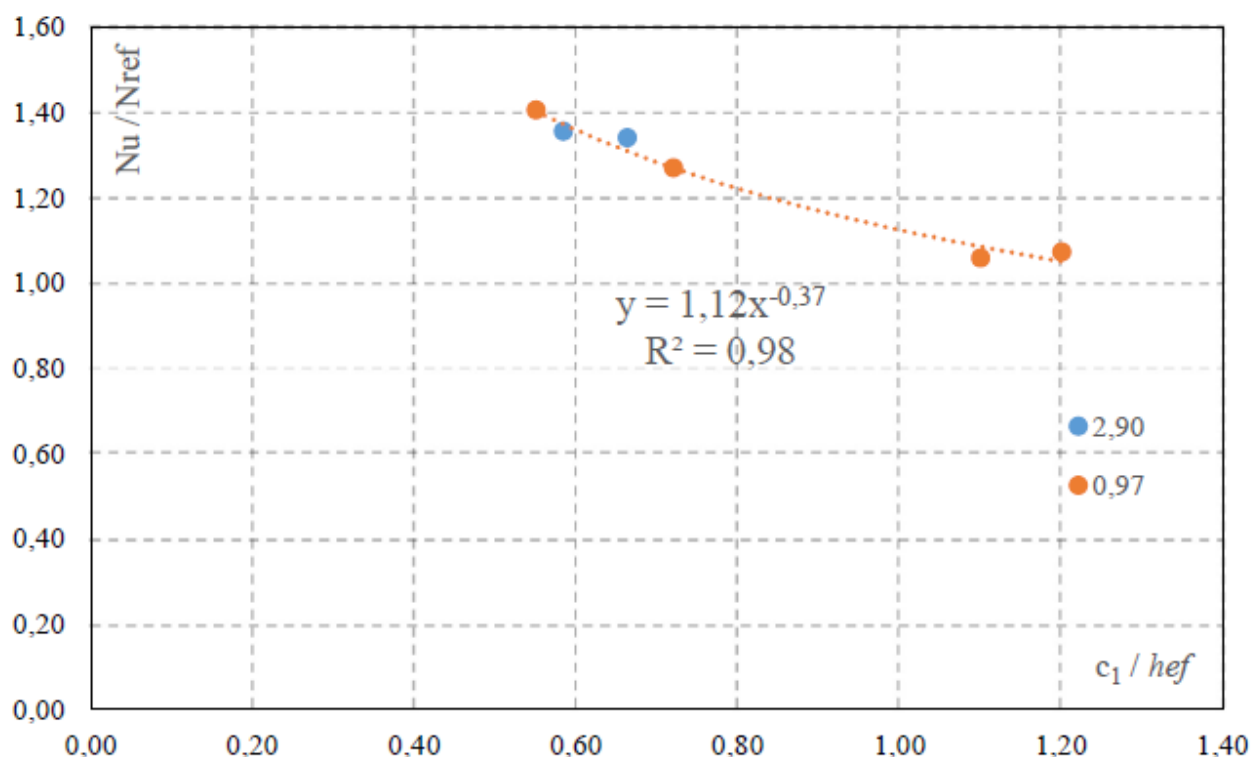
Fonte: Autoria própria. (2019)

5.2.ESPAÇAMENTO

Em relação ao espaçamento (s) entre conectores, a inclinação do ângulo de ruptura (α) será igual a 35° e a projeção do cone de ruptura na superfície do concreto tem um diâmetro igual a três vezes o embutimento de ancoragem efetivo do conector (h_{ef}). (ACI 318, 2014)

Então para que um grupo de conectores desenvolva sua carga máxima de tração é necessário haver um espaçamento entre conectores igual a $3 \cdot h_{ef}$, de modo que se evite a sobreposição dos cones de concreto de conectores adjacentes.

Os resultados obtidos sobre a distância do conector em relação ao estribo (c_1/h_{ef}) para que se alcance maiores ganhos em resistência ao arrancamento de conectores pré-instalados está demonstrado na Figura 9, onde essa relação segue a seguinte exponencial:

Figura 9: Resistência ao arrancamento de conectores em função da distância do estribo

Fonte: Autoria própria. (2019)

A relação a cima descrita, demonstra que quanto mais distante está o conector do estribo, menor será sua resistência ao arrancamento, assim como quanto mais próximo, maior será o incremento de resistência ao arrancamento pelo cone de concreto.

6-CONCLUSÃO

A partir da análise de oitenta resultados obtidos na literatura, fica evidente que a presença de estribos contribui significativamente no incremento de força resistente na ruptura pelo cone de concreto. Esse aumento é fornecido por uma parcela resistente fornecida pelo concreto e outra pelo estribo, contudo por haver poucos estudos sobre o comportamento estrutural de ancoragens de aço reforçadas com estribos, a proporção das contribuições de cada parcela resistente na resistência final, ainda é desconhecida.

Uma vez que as recomendações elaboradas pela ABECE serão baseadas na tradução e adaptação da ETAG 001-01 (2013) que não considera a contribuição dos estribos, estas recomendações podem ficar conservadoras quando ignorada a contribuição destes.

E ainda, a eficiência da utilização de estribos, depende diretamente da distância entre as ancoragens e o estribo, sendo maior o ganho de resistência, quanto mais próximo estiver da ancoragem e, quanto mais distante estiver do estribo, menor o acréscimo de resistência à ancoragem.

7-REFERÊNCIAS

- ACI Commite 318, Bulding Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14) and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hill, Michigan, 2014.
- BUJNAK, J.; BAHLEDA, FARBAK, M. Headed fastenings acting in cooperation with supplementary steel reinforcement. *Procedia Engineering* 91, p.250-255. 2014. In: COSTA, H.
- D. Resistência à Tração de Conectores de Aço Embutidos em Elementos de Concreto Armado. Belém, 2016.
- COSTA, H. D. Resistência à Tração de Conectores de Aço Embutidos em Elementos de Concreto Armado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2016.
- ELIGEHAUSEN, R.; MALLÉE, R.; SILVA, J. F. Anchorage in Concrete Construction. 1^o edition, Ernst & Sohn GmbH & Co. KG. 2006.
- EOTA, ETAG No 001: Guideline for European Technical Approval of Metal. Anchors for Use in Concrete, Brussels, 2010.
- fib Bulletin 58. Fédération Internationale du Béton. Design of Anchorages in Concrete., Lausanne, Switzerland, 2011.
- FONTENELLE, E. G. Resistência à tração de pinos de ancoragem isolados pré-instalados– influência da armadura de flexão e cisalhamento. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Goiás, 2011.
- FUCHS, W.; ELIGEHAUSEN, R.; BREEN, J.E.: Concrete Capacity Design (CCD) Approach for Fastening to Concrete, Authors' Closure to Discussion. *ACI Structural Journal*, Vol. 92, No. 6, S. 794-802, 1995.
- HENRIQUES, J.; RAPOSO, J. M.; SILVA, L. S.; NEVES, L. C. Tensile resistance of steel- reinforced anchorages: experimental evaluation. *ACI Structural Journal*, V. 110, No. 2, March-April. 2013.
- LEE, N. H.; KIM, K. S.; BANG, C. J.; PARK, K. R. Tensile-headed anchors with large diameter and deep embedment in concrete. *ACI Structural Journal*, V. 104, No. 4, 2007.
- PETERSEN, D.; LIN, Z.; ZHAO, J. Behavior and Design of Cast-in-Place Anchors under Simulated Seismic Loading. DRAFT Final Report (Volume I), National Science Foundation for the NEESR Project Funded under Grant. No. CMMI-990712342, Jul, 2013.
- SHARMA, A.; ELIGEHAUSEN, R. and ASMUS, J. Comprehensive analytical model for anchorages with supplementary reinforcement. 3rd International Symposium on Connections between Steel and Concrete Stuttgart, Germany, 2017.
- SHARMA, A.; ELIGEHAUSEN, R. and ASMUS, J. Comprehensive experimental investigations on anchorages with supplementary reinforcement. 3rd International Symposium on Connections between Steel and Concrete Stuttgart, Germany, 2017.
- TRAUTWEIN, L. M.; MARINHO, A.M.; GOMES, R. B. Anchor bolts - Influence of supplementary reinforcement. *KSCE Journal of Civil Engineering - Korean Society of Civil Engineering*. Korean, 2017.

CARMONA, T.G. Carmona Soluções de Engenharia, 2019. Disponível em: <<https://www.carmona.eng.br/noticias/2019/7/9/processo-de-elaborao-de-recomendao-para-projeto-de-fixaes-com-chumbadores-mecnicos-em-pauta>> Acesso em: 22 de out de 2019.

NOTAS

¹Disponível em: <<https://docplayer.com.br/49063529-Reforco-dos-soalhos-soalhos-mistos-acobetao-com-ligadores-de-pino-fixados-com-cravadeira.html>> Acesso em: 17 de Dez de 2019

²Disponível em: <<https://www.schenkel.com.br/adesivos-estruturais>> Acesso em: 17 de Dez de 2019

³Disponível em: <<https://www.dywidag.com.br/projetos/2013-info-21/ponte-de-laguna-brasil-banco-sucessivo-com-elementos-pre-moldados-protendidos-utilizando-barras-dywidag/>> Acesso em: 17 de Dez de 2019

⁴Disponível em: <<https://www.quartzolit.weber/solucoes-tecnicas-quartzolit-para-reparos-protecao-e-reforco/como-fixar-elementos-e-grautear-alvenarias-com-praticidade>> Acessado em: 01 de Dez de 2019

⁵Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural – ABECE

Capítulo 11



10.37423/230307432

REÚSO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM ESCOLAS PÚBLICAS: UMA PROPOSTA DE SAÚDE AMBIENTAL.

Larissa Queiroz da Silva

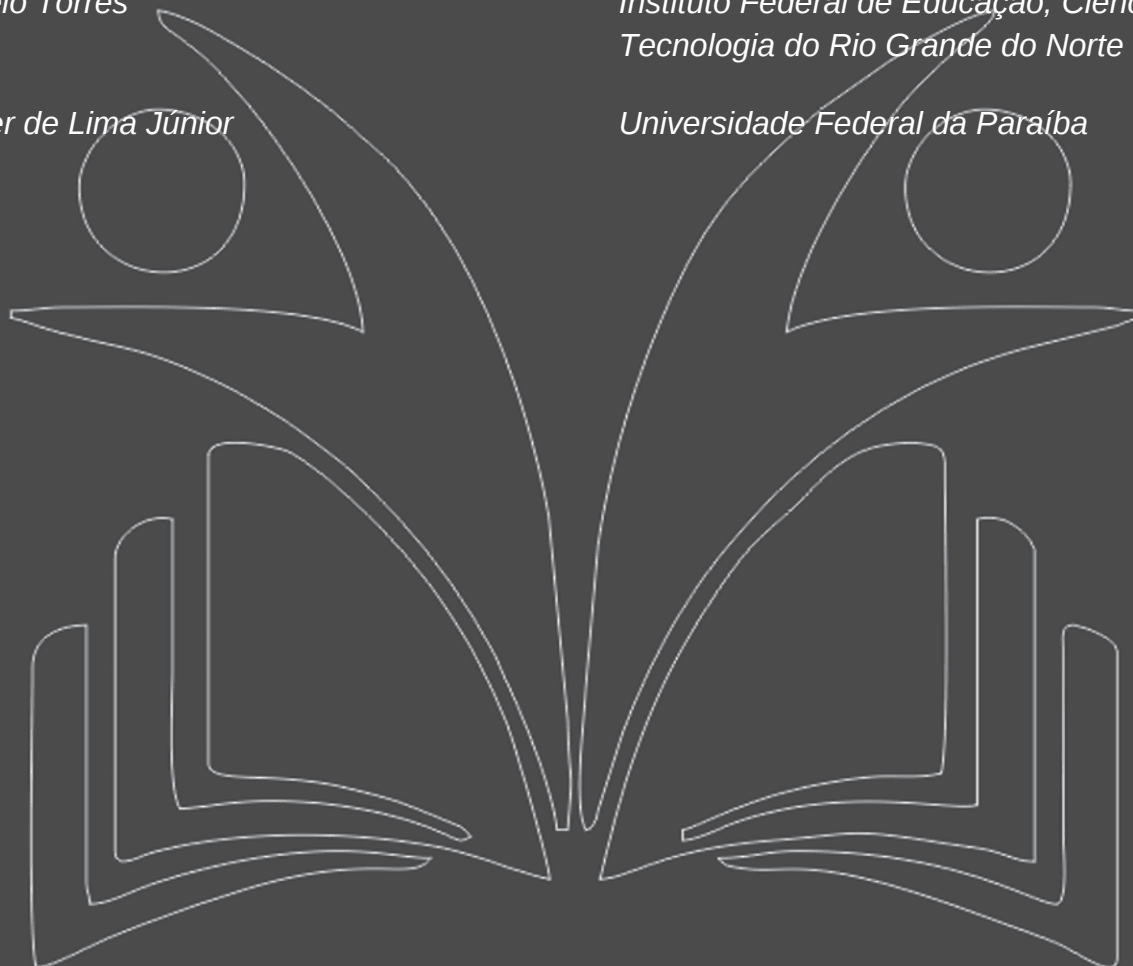
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Dayana Melo Torres

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Dário Xavier de Lima Júnior

Universidade Federal da Paraíba



Resumo: Tendo em vista a dificuldade que Escolas Técnicas Estaduais da Paraíba encontraram, no tocante ao tratamento e destinação correta de seus efluentes sanitários domésticos, atrelada à insuficiência de área necessária ao seu descarte, esta pesquisa teve por objetivo verificar, de forma interventiva, as viabilidades técnica e ambiental, além dos custos envolvidos, na implantação de um sistema de reúso de efluentes sanitários através de Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) compacta. Através de uma abordagem qualitativa foram desenvolvidas atividades que promoveram a apuração e análise de dados, análise dos projetos de arquitetura e topografia e de documentos relacionados ao seu dimensionamento, cálculos das vazões, elaboração de projetos de reúso de efluentes tratados. O embasamento teórico está fundamentado no que preconiza as resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) referentes à disposição de efluentes domésticos tratados no meio ambiente; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR's 13969/97 e 7229/93. Encontrou-se, nos resultados alcançados, que as ETE's compactas foram capazes de mitigar e/ou eliminar alguns dos problemas ambientais possíveis de ocorrer com o descarte irregular desses efluentes sanitários domésticos ao meio ambiente, além de solucionar os entraves de inviabilidade técnica quanto às áreas de implantação insuficientes para o uso de um sistema de tratamento convencional.

Palavras-chave: Tratamento de Efluentes; Escolas Públicas; Reúso.

1 INTRODUÇÃO

O estado da Paraíba, com a necessidade da construção de novas unidades técnicas de ensino, constatou algumas limitações nas aplicações de técnicas de tratamento e disposição de seus efluentes sanitários domésticos usualmente conhecidas e já utilizadas no estado (NBR 13969 – 97 e NBR 7229/93). Partindo disso, ao se conceber uma solução sanitária convencional (tanque séptico, filtro anaeróbio, sumidouros e valas de infiltração ou similares), percebe-se a limitação de áreas disponíveis para sua implantação e as características do solo para a deposição do efluente tratado, considerando que os terrenos dessas escolas não comportavam tais soluções.

Os efluentes oriundos de quaisquer fontes poluidoras, segundo a Resolução CONAMA nº 430 de 13 de maio de 2011, somente poderão ser destinados de forma direta ou indireta, nos corpos receptores, após tratamento prévio, assegurando o atendimento às exigências dessa Resolução. Temas e debates com o enfoque voltado para a avaliação, já são propagados no mundo, para o desenvolvimento e o gerenciamento de recursos hídricos. A partir do Código das Águas, primeiro marco legal, os recursos hídricos têm enfoque desde 1934, no Brasil. Desde então, foram delimitados parâmetros seguidos na Política Nacional de Recursos Hídricos, com a Lei Nº. 9433, de janeiro de 1997, a Lei das Águas. A Agenda 21 e 2030 aborda ações nesse sentido, trazendo, nos capítulos 4 e 18 da agenda 21, questões sobre a demanda dos recursos naturais, sua eficiência e redução de poluição e desperdício; e indicações de aprimoramento de tecnologias existentes e fomento de novas, sendo possível o aproveitamento desses recursos hídricos, pensando neles como um bem social, econômico e essencial para a vida.

De acordo com Ansano (1998), quando se alia as vantagens dos usos do esgoto tratado com o crescimento da pressão nos recursos hídricos, ocorre um estímulo para o surgimento de questões como a recuperação de esgoto, reciclagem e reúso de água, sendo os principais atores na gestão dos recursos hídricos. As condições de tratamento preconizadas, os métodos de segurança a serem seguidos e os custos da operação e manutenção atrelados, serão determinados pela qualidade da água utilizada e a finalidade de reuso. Esse reúso reduz o volume de esgoto, mitigando os impactos ambientais, gerando menor volume de esgoto sem tratamento e combatendo a escassez hídrica (BONI, 2009). Em alguns países que adotaram sistemas de reúso de água empregam parâmetros específicos por eles constituídos, com base nas diretrizes atribuídas pela Organização Mundial da Saúde (NOGALES ESCALERA, 1995).

Observa-se um grande progresso nas aplicações dessas águas em ambientes urbanos, sendo possível conceber os sistemas hidráulicos prediais como: sistema hidráulico predial, tendo como função a distribuição de água para o edifício, captar efluentes gerados, conduzindo-os a um local apropriado, a saber: (a) sistema de distribuição e coleta (PEIXOTO, 2008); sistema de reúso de água: tem a função de captar o efluente rejeitado (águas brancas, cinzas ou negras) e conduzi-lo para o tratamento, redistribuindo-os aos edifícios em pontos de consumo. Estes são parte integrante do sistema de reuso de água de uma edificação.

2 METODOLOGIA

As atividades da pesquisa foram parcialmente desenvolvidas na Superintendência do Plano de Desenvolvimento de Obras do Estado da Paraíba (SUPLAN), com sede no município de João Pessoa. As escolas abordadas nesta pesquisa foram três Escolas Técnicas Estaduais, localizadas nos municípios de Patos e Itaporanga, no estado da Paraíba. O estado foi contemplado com a construção dessas unidades de ensino, pelo FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação), com alguns projetos complementares de engenharia padrão (hidrossanitário, elétrico, climatização e irrigação), possuindo a mesma arquitetura. Contudo, considerando as peculiaridades de cada região, assim como a variedade dos terrenos onde as escolas seriam implantadas, foi necessário realizar um estudo de viabilidade técnica e ambiental para desenvolver os projetos de fundação e solução sanitária.

O estudo foi baseado em uma pesquisa de campo com abordagem mista. Qualitativamente foram analisadas as soluções sanitárias possíveis e sua eficiência e os possíveis impactos ao meio ambiente. Quantitativamente, nesta pesquisa, foram dimensionadas as vazões de projeto dos efluentes sanitários gerados por cada escola estudada, cálculo das áreas requeridas para a implantação dos equipamentos desse sistema de tratamento e cálculo dos reservatórios de água não potável (produto do tratamento da ETE), com base nas normas NBR 7229/93 e NBR 13.969/97. Para avaliar as viabilidades de reúso dos efluentes tratados, esta pesquisa está pautada nos questionamentos postulados por Peixoto (2008), quais sejam: As indicações de aplicação do efluente tratado das escolas foram definidos com base na classificação de utilização da água de reúso, abordada pela principal legislação referente ao tema, que é a Norma ABNT 13.969/97.

3 RESULTADOS OBTIDOS

Para melhor subsidiar na definição do tipo de sistema de esgotamento sanitário adotado, foram realizados testes de capacidade de absorção do solo e profundidade do lençol freático nos terrenos

das escolas, mostrando que não seria possível a implantação de um sistema convencional de tratamento de efluentes líquidos (NBR 13969/97). Os testes de absorção do solo das escolas de Itaporanga e Patos foram $C_i = 21,33$ e $21,30 \text{ m}^2/\text{l} \times \text{dia}$, respectivamente. As escolas possuem $5.577,39 \text{ m}^2$ de área construída, cada uma, e para calcular seu consumo diário, considerou-se uma população total de 500 (quinhentas) pessoas para cada escola, incluindo funcionários e alunos. O dimensionamento foi baseado na tabela de Contribuição Diária de Esgoto (C) e de Lodo fresco (Lf) por tipo de prédio e de ocupante, disponível na NBR 7.229/93. Para um consumo diário de água de 50 litros por pessoa (escolas – externatos e locais de longa permanência), obteve-se um consumo diário total de 25.000 litros por pessoa/dia. O cálculo do volume de contribuição foi: $V = N \times C$, onde: V = volume útil, em litros; N = número de contribuintes; C = contribuição de despejos, em litros / pessoa x dia. Os dados, nos projetos em questão são: N = 500 pessoas; C = $50 \text{ l/m}^2 \times \text{dia}$. Portanto, $V = 500 \times 50 = 25,00 \text{ m}^3$; V (volume útil) = $25,00 \text{ m}^3$, para cada escola.

Figura 1 – Viabilidade Técnica das soluções sanitárias. Fonte: a autora – 2019.

ESCOLAS	Área do terreno da escola (m ²):	Área construída/reformada da escola (m ²)	Área disponível p/ implantação da solução (m ²)	Área requerida p/ implantação da solução (Fossa + Filtro anaeróbio + Valas de infiltração) (m ²)	Área requerida p/ implantação da ETE compacta (m ²)
Escola Técnica em Itaporanga	12.224,61	5.577,39	283,08	3.741,24	100,00
Escola Técnica em Patos	12.000,00	5.577,39	300,24	3.188,70	100,00

Figura 2 – Análise de Custos das soluções sanitárias. Fonte: a autora – 2019.

ESCOLAS	PREÇO FOSSA + FILTRO+ VALAS DE INFILTRAÇÃO (R\$)	PREÇO FOSSA + FILTRO+ VALAS DE INFILTRAÇÃO COM ALTERNÂNCIA DE USO (R\$)	PREÇO ETE COM REUSO (R\$)
Escola Técnica em Itaporanga	243.795,60	437.918,32	271.782,35
Escola Técnica em Patos	240.289,46	430.906,04	275.854,59

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foi adotado um sistema individual de tratamento de efluentes, composto por uma ETE compacta, em PVC reforçada com fibra de vidro, com capacidade de vazão diária igual a 25,00 m³. Foi demonstrada as viabilidades técnica e econômica da solução adotada (Figura 1) e a viabilidade ambiental, através de seu reúso em lavagens de pisos e rega de jardins das escolas. Desta forma, é possível que as escolas adotem o sistema de reúso desse efluente tratado em descargas de vasos sanitários e mictórios, adaptando suas instalações, através de intervenções simples para que isso seja possível (MOURA et al., 2020).

O Memorial Descritivo do sistema, elaborado pela empresa fornecedora do equipamento, demonstra os cálculos e métodos de dimensionamento para obtenção de remoção de 80% a 95% de DBO; 75% a 90% de DQO; 80% a 95% de SST e $N-NH_3 \leq 20$ mg/L (MEMORIAL DESCRITIVO, 2018). O NMP de coliformes esperado no efluente final será entre 0 - 10/100 ml, desde que atingida a demanda de cloro, mostrando que o efluente tratado está apto para tal reúso. Após as etapas de tratamento, o efluente final segue para a destinação escolhida para a escola, que nesse caso, foi o reúso em rega de jardins e lavagens de piso (utilização classe 2), segundo NBR 13.969/97, para ambas as escolas.

Com isso, espera-se que o reúso do efluente tratado traga uma economia significativa de água potável para o Estado.

5 CONCLUSÕES

A solução sanitária implantada nas escolas pesquisadas, a ETE compacta, conseguiu resolver as limitações apresentadas pelos terrenos dessas escolas, que tornava inviável a adoção de um sistema de tratamento convencional de esgoto sanitário doméstico. Dessa forma, pode-se admitir que a

utilização da ETE compacta trouxe viabilidade técnica, econômica e ambiental. Analisando a qualidade esperada do efluente final, pós-tratamento, com suas respectivas taxas de DBO e DQO, constatou-se o fomento na utilização da água de reúso gerada para fins menos nobres, assegurando a saúde dos usuários do equipamento e do efluente tratado. No tocante ao aspecto contributivo desta pesquisa, destaca-se a possibilidade de sua utilização futura como solução alternativa para situações semelhantes, não só em escolas públicas, mas em quaisquer edificações públicas onde se apliquem as mesmas limitações aqui abordadas.

Os fatores limitantes desta pesquisa foram: a limitação cronológica para avaliar a qualidade do efluente das ETE's nas escolas, considerando as interrupções das aulas durante a pandemia atual, tornando inviável a coleta e análise do efluente, restringindo a pesquisa apenas para âmbito de projeto. Esta pesquisa poderá servir de referência para o desenvolvimento de futuras pesquisas, tais como: análise da eficiência do funcionamento dessas ETE's, através da coleta de seu efluente e realização de comparações com o grau de eficiência alcançado pelo sistema. Também foi observada uma certa tendência por resistência, paralelamente, à implementação dessas soluções, por parte dos gestores das obras. De acordo com Medeiros (2007), caberia ao Governo Federal encetar, ao lado dos Governos Estaduais, métodos de gestão, a fim de constituir apoios políticos, legais e institucionais para o reúso de água. Atualmente, não se pode aceitar, de acordo com o autor, a desconsideração do reúso desse insumo por uma política de gestão integrada de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

AGENDA 2030. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> . Acesso em 15 out. 2021.

AGENDA 21 GLOBAL. UNCED - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (1992), Agenda 21 (global). Ministério do Meio Ambiente – MMA. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/ag21global/> . Acesso em: 08 jun. 2021.

ASANO, T. Wastewater reclamation reuse. Volume 10. Water Quality Management Library. 1998. 1528p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: Projeto, construção e operação de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. NBR 13969: Rio de Janeiro, 1997. 60 p.

BONI, Solange da Silva Nunes. Gestão de água em edificações: formulação de diretrizes para o reúso de água para fins não potáveis. 2009. 258 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. São Paulo.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Brasília, 2011.

ESCALERA, O. A. N. Reúso direto das águas residuárias municipais tratadas: uma forma de conservação de água e disposição final. 1995. 226 f. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MEDEIROS-LEITÃO, S. A. Bases para a estruturação das atividades de reúso de água o Brasil: estágio atual. Disponível em: <http://www.iica.org.uy/p2-17-pon10.htm>. Acesso em: 5 abr. 2007.

MEMORIAL DESCRITIVO: Estação Hipercompacta de Tratamento de esgoto doméstico, tipo Ecopremium, pré-fabricada em PRFV, enviado via e-mail pela gerente comercial da empresa fornecedora, em setembro de 2018.

Moura, Priscila Gonçalves et al. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. Engenharia Sanitaria e Ambiental [online]. 2020, v. 25, n. 6 [Acessado 7 Maio 2022] , pp.

791-808. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201> . Epub 18 Dez 2020. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201>.

PEIXOTO, L. Requisitos e critérios de desempenho para sistema de água não potável de edifícios residenciais. 2008. Dissertação (Mestrado) - Escola politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo.

_____. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. NBR 7229: Rio de Janeiro, 1993. 15 p.

SÃO PAULO (Estado). Lei Nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991. (Atualizado até a Lei nº 16.337, de 14 de dezembro de 2016). Estabelece normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial do Estado, 15 dez. 2016. Volume 126. Número 24.

Capítulo 12



10.37423/230307445

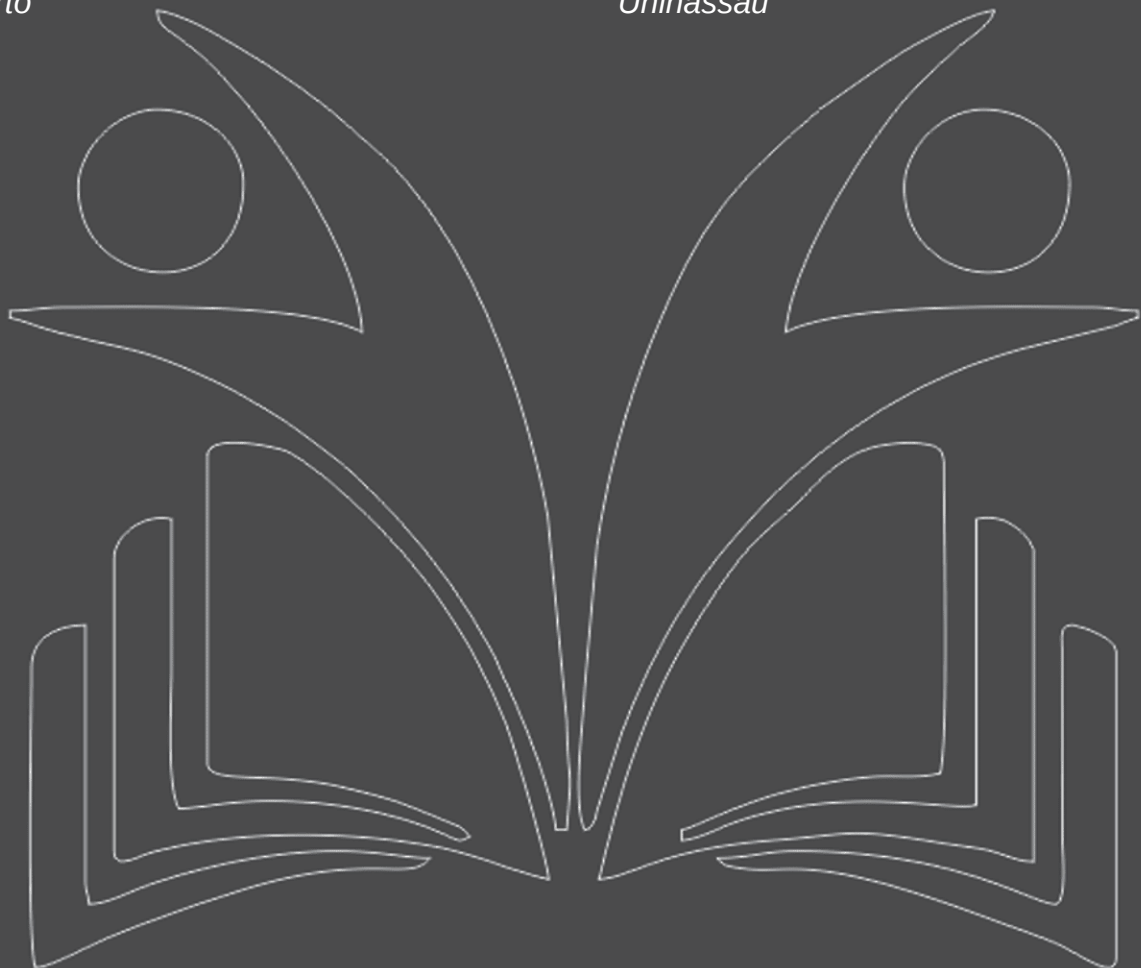
ANÁLISE DE UM ROLETE PRODUZIDO COM MATERIAIS DE BAIXO CUSTO

Davi Magno

Uninassau

Ícaro Roberto

Uninassau



Resumo: O presente artigo trata-se de uma pesquisa realizada analisando dados de diferentes tipos de roletes. O objetivo deste é a criação de um novo rolete utilizando materiais de baixo custo a partir da análise feita em cima de roletes que já são comercializados no mercado, tentando manter a mesma ou quase a mesma eficiência desses. Através de cálculos de resistência de materiais, como a lei de Hookie para tensão, e também o gráfico tensão-deformação, foi possível encontrar a força máxima suportada pelo rolete projetado neste trabalho. Diante dos cálculos e das análises realizados, os resultados mostram-se positivos para que esse rolete seja produzido e comercializado no mercado. Ainda é necessário que se realize os testes específicos no rolete físico, que por falta de equipamentos não foi possível realizá-los, para que se possa obter dados mais acertados em relação ao rolete, corrigir eventuais erros de cálculo, dimensões e também em relação ao material do rolete.

Palavras-chave: Tipos de Roleta; Materiais de Baixo Custo; Resistência de Materiais; Eficiência.

1 INTRODUÇÃO

As máquinas de elevação e transporte tem a finalidade de realizar movimentação horizontal e vertical na indústria e nos canteiros de obra de materiais ou equipamentos, com grande influência nas atividades que demandam agilidade e precisão (BRASIL, 1985). Os dados equipamentos são específicos e exigem grande aplicação dos conhecimentos de engenharia. Sua demanda cresce de acordo com o crescimento econômico, que gera a necessidade de movimentação de cargas em diversos ambientes como de mineração, industrial e portuário (NASSAR, 2004).

Para classificação dos equipamentos de manuseio de cargas, TAMASAUKAS (2000) as classifica em três grupos: equipamentos de manuseio contínuo, que caracterizam-se pelo transporte de materiais a granel, entre eles os transportadores de correia, transportadores de caneca, transportadores que utilizam fusos, etc.; equipamentos de manuseio descontínuo, em que a carga é içada por algum mecanismo (eletroímã, caçamba, tenaz, bloco de gancho, barra de carga, etc.) como talhas, monovias, equipamento com levantamento de carga e giro, pontes rolantes monovigas, pontes rolantes com duas vigas (carro apoiado), pórticos rolantes, semipórticos rolantes, guindastes, etc.; e por último os equipamentos mistos, que podem ser citados os carregadores e descarregadores de material a granel em áreas portuárias ou siderúrgicas.

O transportador de correia é o meio mais versátil e mais difundido para movimentação de carga em instalações industriais. Possui a característica de receber cargas e transportá-las de maneira praticamente contínua ao longo de um caminho precisamente definido. (Dias, J. H.; Lima, A. S.; Tostes, M. E., 2008).

Sacramento (2004) cita os seguintes componentes para uma correia transportadora

- 1 – Correia;
- 2 – Tambores;
- 3 – Componentes;
- 4 - Guias laterais;
- 5 – Roletes;
- 6 – Freios;
- 7 – Chute;
- 8 – Estrutura;

9 – Drive;

Para dar suporte e movimentação para a correia, com o objetivo de guia-la para sua direção de trabalho, Sacramento (2004) descreve os roletes de carga como uma parte fundamental para o funcionamento das correias transportadoras.

De acordo com o catálogo da empresa fabricante de roletes de carga CRISGUI (2012), os roletes são projetados para operarem sob as mais diversas e severas situações de trabalho, formando um conjunto robusto e extremamente eficaz. São conjuntos de rolos, geralmente cilíndricos, e seus respectivos suportes. Estes rolos podem efetuar livre rotação em torno de seus próprios eixos e são instalados com o objetivo de dar suporte à movimentação da correia e guiá-la na direção de trabalho. Podem ser encontrados montados com um único rolo, com rolos múltiplos. (Transportes Contínuos para Granéis Sólidos, SACRAMENTO, R. C. F., 2004)

Segundo Sacramento (2004), existem diferentes tipos de roletes, cada um com uma função específica. São eles:

Roletes de Impacto – Roletes localizados no ponto de descarga do material sobre o transportador, destinando-se a suportar o impacto deste material sobre a correia. São constituídos de vários anéis de borracha montados sobre um tubo de aço e são montados com pequenos afastamentos entre os rolos.

Roletes de Carga – Estes roletes, em geral, são localizados no lado superior do transportador e sua função é suportar a correia transportadora, bem como a carga que está sendo transportada por ela. Os roletes de carga podem ter as seguintes configurações: planos, duplos, triplos, em catenária com 3 ou 5 rolos ou espiralados. Os roletes duplos, triplos e em catenária têm maior capacidade de carga que o plano, devido ao acamamento que proporciona à correia.

Roletes de Retorno – Roletes no qual se apoia o trecho de retorno da correia. Possui a montagem com maior espaçamento entre si. São constituídos de anéis de borracha separados por distanciadores e montados sobre um tubo de aço.

Roletes Auto-Alinhantes (carga e retorno) – Conjunto de rolos dotado de mecanismo giratório acionado pela correia transportadora de modo a controlar o deslocamento lateral da mesma. Usualmente utilizados tanto no trecho carregado quanto no de retorno. Este tipo de rolete pode possuir braços laterais que avançam paralelos à correia, porém em sentidos opostos ao seu movimento. Na extremidade desses braços são colocados rolos que ficam a 90° da correia. Por qualquer circunstância que a correia tenha desalinhado, sua borda tocará no rolo vertical, provocando

um movimento giratório do conjunto, formando um certo ângulo em relação à correia. Esse desvio angular cria uma força que obriga a correia à procura do seu centro original, reinstituindo o alinhamento.

Roletes de Transição – Esses roletes têm por finalidade acompanhar gradativamente a mudança de concavidade da correia ao se aproximar dos tambores de descarga ou na saída do tambor de retorno. Em geral, esses roletes são providos de rolos laterais reguláveis que proporcionam à correia uma mudança de planos suave e sem desequilíbrio de tensões.

Roleta de Retorno com Anéis – Tipo de roleta de retorno onde os rolos são constituídos de anéis de borracha, de modo a evitar o acúmulo do material no rolete e promover o desprendimento do material aderido à correia.

Roleta em Espiral – Tipo de roleta onde o rolo tem forma de espiral, destinado a promover o desprendimento do material aderido à correia.

Roleta em Catenária – Conjunto de rolos suspensos dotados de interligações articulados entre si, permitindo o deslocamento longitudinal ou transversal ao transportador e adaptando-se ao formato da correia.

Roletes Guias – Esses rolos dispostos verticalmente em relação às bordas da correia são fixos e sua função é guiar a correia, principalmente na entrada dos tambores, evitando que a mesma seja jogada contra a estrutura. Esse tipo de rolo só deve ser usado em última instância, pois provoca o desgaste das bordas da correia e consequente cisalhamento das lonas da carcaça.

Segundo Hayrton (2019), o tipo e a dimensão de um rolo a ser aplicado em um transportador dependem de alguns parâmetros, como: a capacidade do transportador de correia; a velocidade da correia; largura da correia; peso da correia por metro linear; característica do material que está sendo transportado; condições ambientais; condições de operação; condições de manutenção; espaçamento dos roletes; temperatura de trabalho.

Os roletes de carga são classificados em pesado, médio e leve, de acordo com o tipo de carga que irão transportar. E isso os faz serem produtos capazes de transportar cargas de diversos portes. Pode ser produzido em aço carbono, aço inox, polipropileno e PVC.

Este projeto é baseado na produção de um roleta de carga plano, com materiais de baixo custo, realizar os testes de resistência, e fazer uma comparação com roletes de aço já utilizados na indústria, afim de verificar sua viabilidade, custo-benefício, tempo de vida útil, capacidade de carga entre outros.

Segundo a ABNT NBR 6678:2017, uma vez que os roletes de carga planos são utilizados muitas vezes em alimentadores de correia ou transportadores com características especiais, a carga utilizada para o cálculo do suporte deve ser igual a carga real, respeitando-se os demais requisitos estabelecidos nesta Norma.

2 METODOLOGIA

2.1 ANÁLISE ESTRUTURAL

2.1.1 ANÁLISE DO TUBO EXTERNO E EIXO

Um rolete convencional possui um rolamento, um tubo externo e um eixo, seu interior se encontra oco, para que possa ser feito o movimento do tubo externo em relação ao eixo através do rolamento.

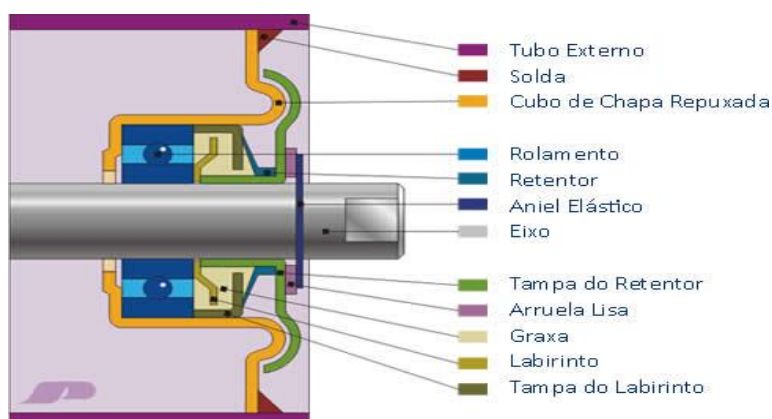


Figura 1: Rolete cubo de chapa - linha leve

Fonte: Lion Merc (2019)

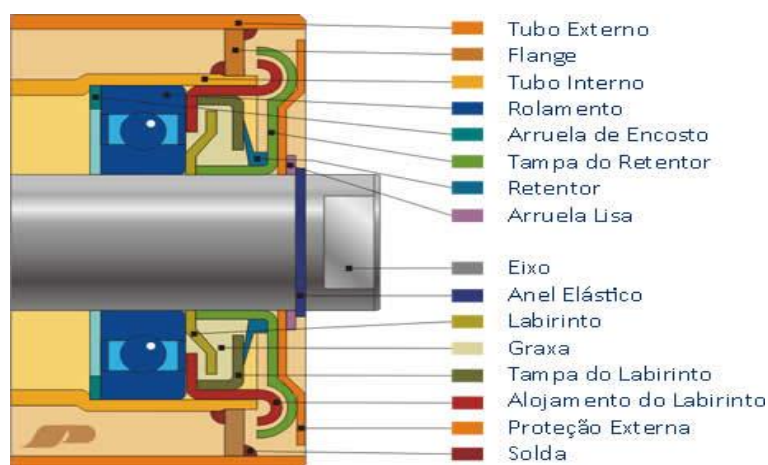


Figura 2: Rolete duplo envelope – linha pesada

Fonte: Lion Merc (2019)

Pela necessidade desse espaço oco para seu movimento, a resistência do PVC não seria suficiente para suportar nada além de sua baixa carga padrão, foi então utilizado um tarugo de nylon para preencher o seu interior separado do eixo por uma fina camada de óleo, de acordo com Franco Brunetti (2005) líquidos tem o formato definido pelo recipiente em que habitam e são incompressíveis, esse fato faz com que a camada de óleo transfira a tensão diretamente para o eixo de aço, sem que o tarugo de nylon entre em contato direto com o mesmo, mantendo sua capacidade de movimento, apesar de ter sido completamente preenchido.

Empresas de grande porte disponibilizam seus produtos por catálogos, catálogos esses feitos partir de normas técnicas como as realizadas pela Organização Internacional para Padronização(ISO), esses catálogos permitem a padronização de medidas e maior facilidade de disponibilidades de produtos no mercado, foi então usado como base para a montagem do rolete o catálogo do IPC industrial e roletes usados para transporte de cimento na Elizabeth.



Tabela de Dimensões dos rolete de carga média:

Diâmetro	Eixo	Capacidade de Carga	Código
60,3 mm	12 mm 20 mm	50 Kg 150 kg	IP-060
63,5 mm	12 mm 20 mm	60 Kg 180 kg	IP-063
76,2 mm	12 mm 20 mm	70 Kg 200 kg	IP-076
88,9 mm	12 mm 20 mm	80 Kg 350 kg	IP-088

Figura 3: Tabela de dimensões dos roletes de carga média

Fonte: Catálogo IPC industrial (2019)

O rolete estudado possui 1.1 m de comprimento, 60.3 mm de diâmetro e um eixo de 20 mm de aço 1020 para poder suportar um máximo de tensão para seu padrão de tamanho no mercado.

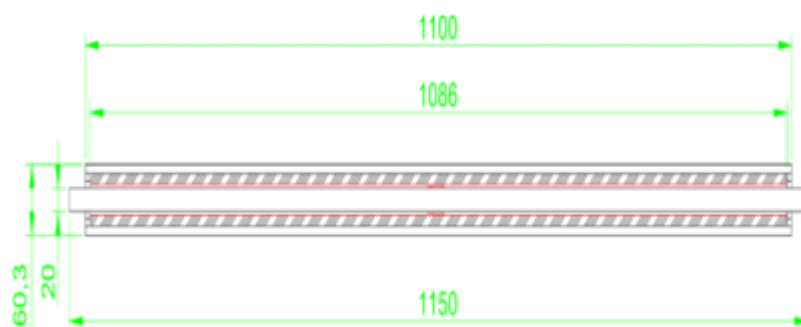


Figura 4: Desenho técnico do rolete em milímetros

Autor: Ícaro Roberto

2.1.2 ANÁLISE DO ROLAMENTO E FLUIDO INTERNO DO ROLETE

Seguindo o catálogo de rolamentos fixos de esfera disponibilizados pela empresa NACHI, foi possível determinar o rolamento específico para o rolete.

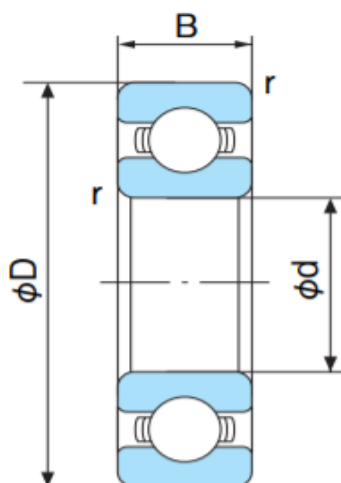


Figura 5: Dimensões de um rolamento

Fonte: Catálogo NACHI

Onde D é o diâmetro externo, d é o diâmetro interno e B é a espessura do rolamento, baseado nesses dados, foram decididas as medias do rolamento.

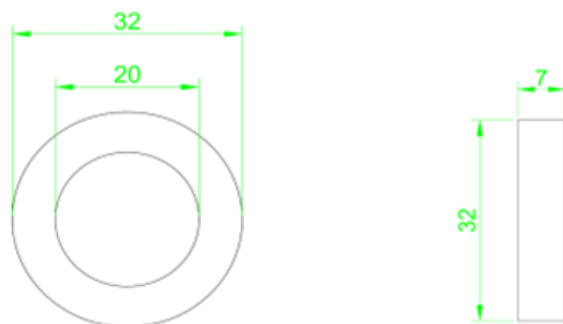
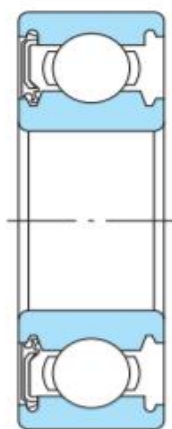


Figura 6: Desenho técnico do rolamento simplificado em milímetros

Autor: Ícaro Roberto

Seu tamanho encaixa exatamente no diâmetro interno do PVC e no externo do aço, tendo apenas uma folga de 0,3 milímetros.

Para evitar o vazamento da camada de óleo interna do rolete, o rolamento necessita de um sistema de vedação em um de seus lados.



Uma vedação
com contato
(NSE)

Figura 7: Rolamento com vedação

Fonte: Catálogo NACHI

Ambos os rolamentos bloqueiam a saída do óleo deixando o fluido com um formato cilíndrico fixo, transferindo as forças aplicadas diretamente para o eixo de aço, e ainda o mantendo o movimento do rolo.

2.2 ANALISE DE CARGAS

O rolete é composto por três camadas, PVC, nylon e aço 1020 respectivamente, com uma fina camada de óleo entre o aço e o nylon, devido à baixa resistência do nylon seu valor foi considerado como zero, sendo apenas utilizado o aço e o PVC para o cálculo da carga máxima suportada pelo rolete.

Vigas construídas com dois ou mais materiais diferentes são denominadas vigas compostas (HIBBELER, 2007). O teorema das vigas compostas define uma “transformação” das duas vigas de materiais diferentes em um único material, podendo assim ser feito o cálculo da tensão máxima em ambas as vigas, em razão do completo preenchimento do rolete e da baixa resistência do nylon o cálculo do rolete pode ser feito através desse teorema.

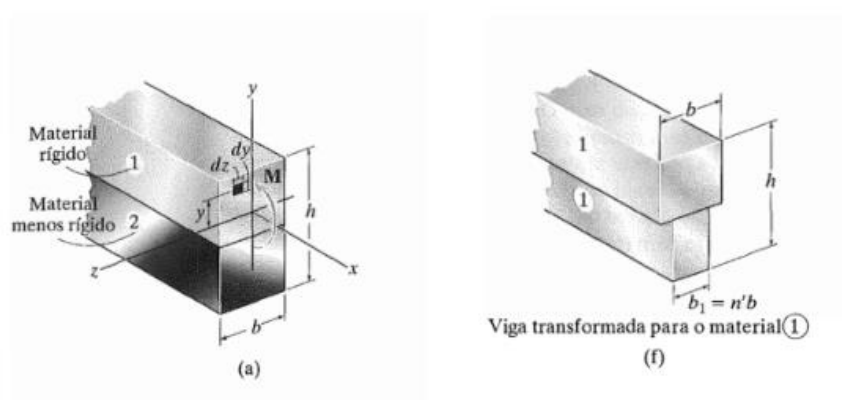


Figura 8: Vigas compostas

Fonte: Hibbler (2007)

Como mostrado na figura, o material menos rígido foi transformado no mais rígido, assim aplicando a formula no rolete, transformando a tensão do PVC σ_{PVC} na tensão do aço $\sigma_{Aço}$ seguiria pela seguinte formula:

$$\sigma_{PVC} = \sigma_{Aço} \cdot n$$

Em que n é o fator de transformação, dado pelo modulo de elasticidade do PVC E_{PVC} sobre o modulo de elasticidade do aço $E_{Aço}$.

$$n = E_{PVC} / E_{Aço}$$

O cálculo da tensão do PVC é desnecessário, visto que essa tensão é convertida na do aço. Sendo assim a formula para a tensão máxima se resume por:

$$\begin{aligned} \sigma_{Máx} &= \sigma_{Aço} + \sigma_{PVC} \\ \sigma_{Máx} &= \sigma_{Aço} + \sigma_{Aço} \cdot n \end{aligned}$$

Para o cálculo da tensão do aço, é usada a lei de Hookie.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARGA SUPORTADA

O módulo de elasticidade e a deformação, podem ser determinadas através do gráfico tensão-deformação do aço, demonstrado abaixo:

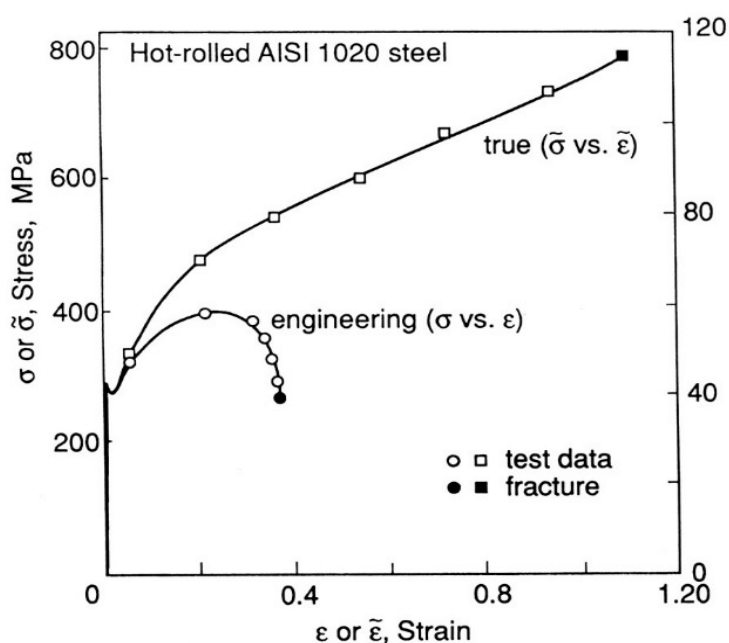


Figura 9: Gráfico tensão-deformação do aço 1020

Fonte: Willy Ank Moraes (2018)

A partir do gráfico, foi determinado o valor da deformação $\varepsilon = (0,3 \cdot 10^{-3})$ e o valor do módulo de elasticidade $E = 205 \cdot 10^6$, substituindo os valores na equação de Hookie:

$$\begin{aligned}\sigma_{Aço} &= (205 \cdot 10^6) \cdot (0,3 \cdot 10^{-3}) \\ \sigma_{Aço} &= 61,5 \text{ KPa}\end{aligned}$$

Substituindo os valores dos módulos de elasticidade, foi possível determinar o fator de transformação

$$n = 2/205 = (9,75 \cdot 10^{-3})$$

Usando o fator de transformação, juntamente com a tensão do aço, foram substituídos os valores na formula da tensão máxima.

$$\sigma_{Máx} = (61,5 \cdot 10^3) + 600$$

$$\sigma_{Máx} = 62,1 \text{ KPa}$$

Utilizando a formula da tensão normal, a área é representada pela a área total da secção longitudinal do rolete e a tensão máxima do rolete para determinar a força máxima que o rolete suporta, assim como sua carga máxima.

$$F_{Máx} = \sigma_T \cdot A_T$$

$$F_{Máx} = (62,1 \cdot 10^3) \cdot (66330 \cdot 10^{-6})$$

$$F_{Máx} = (4,12 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Foi determinado através desse cálculo a força máxima suportada pelo rolete, convertendo de Newton para quilograma, sua carga máxima suportada é de $F_{Máx} = 412 \text{ Kg}$.

3.2 COMPARAÇÃO ENTRE O ROLETE ESTUDADO E OS ROLETES DE PVC E DE AÇO

Segundo o catalogo do IPC industrial o Rolete em PVC é indicado para os mais variados tipos de ambientes e ideais para o transporte de pequenos volumes, como caixas, latas, linhas de montagem com operadores em sequência, linhas de testes etc. Devido sua baixa resistência, o PVC é utilizado em condições baixas de carga, em contraste, o aço tem utilidade para grandes cargas, sendo usados em indústrias de cimento, cerâmicas, etc.

Com o objetivo de reduzir o custo do rolete convencionalmente usado em industrias para transporte de carga média, o rolete estudado demonstrou uma capacidade de exercer uma alta resistência, mantendo sua rentabilidade, utilizando-se de ambos materiais, PVC por ter maior rentabilidade e aço por ter grande resistência, sua alta resistência é mantida através do contato indireto realizado entre esses dois materiais feito através do nylon e da fina camada de óleo, em que grande parte da força seria suportada diretamente pelo eixo, visto que a resistência de ambos nylon e sua camada de óleo são desprezíveis, servindo apenas para manter o contato do eixo com o tubo externo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O rolete estudado apresentou resultados satisfatórios quando comparado aos roletes convencionais, ambos o nylon e o PVC possuem um baixo custo de produção, suas dimensões podem ser adaptadas para outros tipos de modelos convencionais, sua estrutura possui uma fácil montagem, o rolete possui uma boa carga máxima suportada, sua carga possui porte médio, que chega a ser próximo 800% de carga suportada a mais que um rolete de PVC convencional.

Os resultados até aqui encontrados foram positivos, o que favorece a possibilidade de realização de demais análises laboratoriais para o aprofundamento da sua capacidade e possíveis aplicações para

essa estrutura, tais esses como suportes, peças para o melhor encaixe de sua estrutura, melhor adaptações as mudanças, se necessárias, de suas dimensões.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer e dedicar esse trabalho às seguintes pessoas: meus pais Adriana e Monacir, minhas duas tias Andrea e Avenia, minha família que sempre me apoiou e me fez seguir adiante quando passei por momentos difíceis. Meus amigos Abnadab, Ícaro, todo o pessoal da minha faculdade e da minha conexão. Todo o nosso trabalho nesse projeto tomou tempo e conhecimento, um trabalho árduo e cansativo, mas todo esse esforço valeu a pena após ver todos os nossos esforços ganharem forma, tudo graças a todas essas pessoas que sempre nos levaram mais e mais para o melhor de nossos futuros.

Quero agradecer e dedicar este trabalho primeiramente aos meus pais Antonio Roberto e Jovânia Gama, que sempre me apoiaram e estiveram do meu lado em todos os momentos da minha graduação e também ao meu irmão Emanuel. Também agradeço e dedico à toda minha família.

Ainda quero agradecer e dedicar este trabalho aos meus amigos Alexandre, Yolanda, Beatriz, Lucas e aos demais com quem fiz amizade aqui na Paraíba e por quem tenho imensa consideração.

Agradeço e dedico também aos meus queridos amigos que a vida me concedeu o privilégio de conhecer e tê-los até hoje comigo, apesar da distância e dos longos períodos que passamos sem nos vermos. Em especial: Antony, Caio, Igor, Josevane, Diego, Victor, Heberth, Gabriel, Laís, Jennifer, Matheus Viana, e todos aqueles por quem tenho uma consideração enorme e que gostaria de citar nestes agradecimentos.

Não poderia esquecer dos meus colegas de curso Davi, Paulo, Gustavo, Rafael, Ítalo e Kelvin, que ao longo dessa trajetória se tornaram grandes amigos.

Por fim, agradeço e dedico esse trabalho a todos que contribuíram direta e indiretamente para o nosso sucesso.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, André Luiz. **Dimensionamento de um transportador contínuo para o transporte de minério de bauxita considerando aspectos estatísticos e dinâmicos**. 1. Ed. Brasília: 2013. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/7119/1/2013_AndreLuizRomeroFernandesCampos.pdf>.

Acesso em: 10 out. 2019

SAMUEL, V.; LAURINDA, L. M.; JOSÉ, C. T. **Controle de Velocidade de uma Correia Transportadora utilizando Controlador PI**. 1. Ed. Ceará: 2010. Disponível em: <http://www.lamotriz.ufc.br/Artigos/artigo_induscon_final.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019.

Roletes de Carga. Sibaroll. Disponível em: <<https://www.sibaroll.com.br/roletes-de-carga>>. Acesso em: 10 out. 2019.

GONÇALVES, Maxsuell Mendes. **Desenvolvimento de abrasômetro ASTM G65 para simulação de desgaste abrasivo na superfície de roletes de carga**. 1. Ed. Minas Gerais: 2017. Disponível em: <https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/488/1/MONOGRAFIA_DesenvolvimentoAbras%3b4metroAstm.pdf>. Acesso em: 10 out. 2019.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SOUZA, Salete. **Tensões em Vigas – Tópicos Avançados**. 1. Ed. Volta Redonda: 2017. Disponível em: <<http://www.professores.uff.br/salete/wp-content/uploads/sites/111/2017/08/aula12.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2019.

Tipos de Rolo. Lion Merc. Disponível em: <<http://correiasdetransmissao.com.br/pagina.asp?codigo=17>>. Acesso em: 28 out. 2019.

Roletes de Carga Média. IPC Industrial. Disponível em: <<https://ipcindustrial.com.br/roletes-de-carga/rolete-de-carga-media/>>. Acesso em: 28 out. 2019

Rolamentos Fixos de Esfera. NACHI. Disponível em: <http://nachi.com.br/catalogos/Rolamento_Fixo_de_Esferas.pdf>. Acesso em: 28 out. 2019.

DOWLING, Norman. **Comportamento Mecânico dos Materiais**. 1. Ed. São Paulo: GEN LTC, 2017.

RODRIGUES, Hayrton. **A Qualidade dos Transportadores de Correia**. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2019/08/13/a-qualidade-dos-transportadores-de-correia/>>. Acesso em: 7 dez. 2019.

Capítulo 13



10.37423/230307450

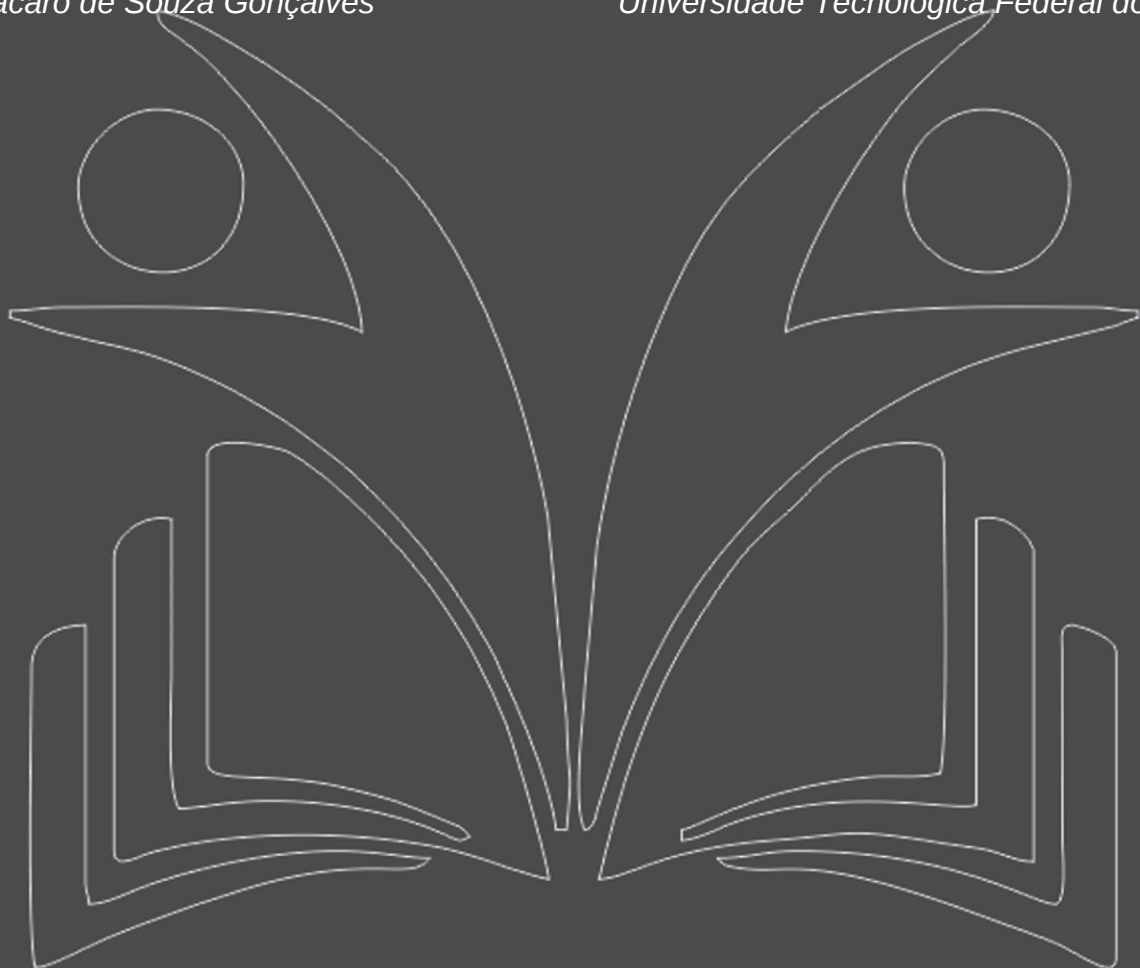
ESTUDO DA VIABILIDADE DE EMULSÕES A BASE DE ÓLEOS VEGETAIS PARA USO EM PROCESSOS DE USINAGEM DE LIGA DE ALUMÍNIO 6061

Caroline carvalho Ferreira

Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Janaína Fracaro de Souza Gonçalves

Universidade Tecnológica Federal do Paraná



Resumo: Os fluidos de corte são compostos que, dentre outros propósitos, servem para reduzir o desgaste das ferramentas de corte, entretanto, tradicionalmente, esses insumos possuem óleos minerais de origem fóssil em sua formulação, não renováveis e com alto potencial de poluição, sendo que os óleos de origem vegetal vêm sendo apresentados como alternativas mais sustentáveis. Neste contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento tribológico de desgaste em ensaio de pino-disco de peças de liga de alumínio 6061, utilizando-se de diferentes emulsões a base de óleo vegetais de mamona, algodão e óleo essencial de melaleuca. Para tanto, foram realizados ensaios em tribômetro do tipo pino-disco com oito amostras, com seis utilizando fluidos a base de óleo vegetal de mamona, algodão e óleo essencial de melaleuca, uma com fluido comercial e outra a seco. Para análise, foram calculadas a perda de volume em função da massa e do coeficiente de desgaste, além de verificada as superfícies de desgaste das amostras via Microscopia Eletrônica por Varredura (MEV). Os resultados demonstraram que todos os fluidos a base dos óleos vegetais testados obtiveram um coeficiente de desgaste menor do que o fluido comercial, com exceção de um (amostra 3), bem como viu-se uma considerável diferença no desgaste com o uso de um fluido de corte em comparação com o teste a seco. O melhor resultado obtido foi com a amostra 2. As imagens geradas via MEV corroboraram com resultados encontrados por meio do coeficiente de desgaste, demonstrando que o principal mecanismo de desgaste nos ensaios foi o por abrasão.

Palavras-chave: desgaste; óleo vegetal; usinagem; fluido de corte.

1 INTRODUÇÃO

O homem, desde a antiguidade, desenvolve técnicas para a redução do atrito, sendo que na contemporaneidade, esse fenômeno físico continua sendo estudado, como no setor industrial, em que se tem a necessidade de reduzir o desgaste de componentes mecânicos em decorrência do atrito, por meio da lubrificação. Além disso, as soluções tecnológicas no século XXI precisam ser sustentáveis, dada a preocupação global com as mudanças climáticas acarretadas pela ação do homem, sobretudo no âmbito das indústrias de produção, setor considerado como um dos principais responsáveis pela poluição do meio ambiente. Sendo assim, busca-se uma produção industrial mais sustentável, ou seja, que alie a o desenvolvimento econômico e tecnológico com o baixo, ou nenhum, impacto ao meio ambiente (SUMARA et al., 2021).

Neste interim, considerando a necessidade de se reduzir o atrito de componentes mecânicos e de se utilizar de técnicas e produtos sustentáveis, vêm-se aumentando a procura por biolubrificantes, isto é, lubrificantes de origem vegetal, uma vez que os que são disponibilizados no mercado são produzidos, em sua maioria, a partir fontes fósseis, como o petróleo, não renovável e que possui características poluidoras, tanto na sua extração, no seu uso e seu descarte. Como opção em substituição aos óleos minerais de origem fóssil, tem-se o óleo vegetal, uma substância biodegradável com a capacidade comprovada de ser decomposta em um intervalo de até um ano, o que faz com que seja um produto menos tóxico e agressivo ao meio ambiente. O Brasil possui uma diversidade de plantas oleaginosas e também tem um grande potencial de produção de óleo vegetal, podendo ser extraídos de diversas plantas que crescem em diferentes condições ambientais e solos diversificados (SILVA et al., 2019).

Desta forma, estudos na área de biolubrificantes, combinado aos comportamentos tribológicos em componentes mecânicos, propõe alternativas para reduzir o desgaste por atrito em componentes mecânicos industriais. Um dos equipamentos mais utilizados para o estudo desses fenômenos são os tribômetros, que tem como principal função simular situações de atrito e desgaste de forma controlada. Os ensaios de desgaste por meio de tribômetros são de extrema importância, já que permitem simular uma situação de degradação que ocorreria em um equipamento durante um longo período de utilização, em um tempo relativamente curto (MALDANER et al., 2021).

Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo principal o de analisar o comportamento tribológico de desgaste em ensaio de pino-disco de peças de liga de alumínio 6061, utilizando-se de diferentes emulsões a base de óleo vegetais de mamona, algodão e óleo essencial de melaleuca. Os

objetivos específicos foram: realizar ensaios de desgaste em tribômetro industrial pino-disco com emulsões a base de óleos vegetais; analisar a capacidade de emulsões de evitar o desgaste de uma peça de alumínio 6061, a partir do cálculo do volume perdido, do coeficiente de desgaste e análise via MEV; avaliar o potencial de uso dos óleos vegetais de algodão, mamona e melaleuca como componente para a produção de fluidos de corte.

2 MANUFATURA SUSTENTÁVEL NA USINAGEM

De acordo com Portney (2015), o termo sustentável está ligado com a capacidade de um determinado fenômeno ou processo se manter ao longo tempo, sem causar impactos externos. Nesse contexto, uma manufatura sustentável trata-se de um processo produtivo que se utiliza de técnicas, tecnologias, procedimentos e materiais que eliminam ou minimizam os impactos, sejam ambientais ou sociais, negativos que possam causar, assegurando sua viabilidade econômica. Assim, a manufatura sustentável se preocupa conjuntamente com as questões econômicas, ambientais e sociais na produção, englobando, portanto, a base tríplice do conceito de sustentabilidade.

Seguindo esses preceitos, é de suma importância que haja uma mudança de paradigma nos modelos de produção industriais antigos, adotando-se técnicas e tecnologias que reduzam ou eliminem qualquer impacto ambiental, uma vez que o setor é um dos principais responsáveis pela degradação ambiental, ao passo que se deve manter o crescimento econômico, algo que pode ser especialmente desafiador. Especificamente sobre as atividades industriais de usinagem, um dos principais problemas encontram-se no uso de fluidos de corte, que, em grande parte, possuem um impacto negativo no meio ambiente, seja na sua obtenção (fontes não renováveis), descarte (poluição do meio ambiente) ou para o ser humano (toxicidade) (SANKARANARAYANAN et al., 2021).

Sobre o assunto, Oliveira e Alves (2007) argumentam que a utilização de fluidos de corte no processo de usinagem faz da indústria metalmeccânica um ramo com um alto potencial para poluir o meio ambiente e causar efeitos deletérios ao ser humano. Durante a usinagem, os fluidos de corte mudam sua composição, podendo formar substâncias secundárias, produtos de reações originados durante o processo, corpos estranhos e microrganismos que são agregados aos fluidos de corte. Assim, para entender melhor sobre o assunto da manufatura sustentável nos processos de usinagem, é essencial tratar sobre os fluidos de corte, uma vez que tais produtos são os principais problemas no que tange a sustentabilidade neste setor industrial.

De acordo com Stoeterau (2003), todos esses processos, na maioria das vezes, envolvem grandes esforços, o que, por sua vez, acarreta na geração de calor. Sendo assim, faz-se necessário a adição de uma substância capaz de resfriar a área que está sendo trabalhada na atividade de usinagem, além de limpá-la e lubrificá-la, auxiliando o processo de corte. Essa é a função dos fluidos de corte, um insumo utilizado para manter o local em uma temperatura dentro de uma faixa de trabalho aceitável e auxiliar a ferramenta de corte a remover o material da peça, prolongando a sua vida útil.

As três principais funções que um fluido de corte deve cumprir é o de resfriamento, lubrificação e limpeza da região de corte. A escolha pelo uso ou não de um fluido de corte nos processos de usinagem depende de alguns fatores, mas, principalmente da dureza do material a ser trabalhado. No caso dos metais, com exceção de algumas ligas metálicas, o uso de fluidos que possuam essas três características é essencial para garantir a qualidade do trabalho de usinagem (FERRARESI, 2018).

2.1 FLUIDOS DE CORTE A BASE DE ÓLEO VEGETAL E ÓLEO ESSENCIAL DE PLANTAS

Em busca de desenvolver fluidos de corte mais sustentáveis, tem se intensificado as pesquisas para a substituição de óleos de origem mineral por graxos, principalmente os extraídos de plantas. De acordo com Kawazoe (2014), os óleos vegetais fazem parte do grupo chamado de óleo graxos, que são aqueles de origem animal e vegetal, já que ambos são ricos em ácidos graxos, substâncias orgânicas pertencentes ao grupo dos lipídios (ou gorduras). No caso dos óleos vegetais, eles podem ser obtidos em plantas oleaginosas, como soja, girassol, milho, que possuem altas concentrações dessa substância em suas sementes. Apesar de possuírem similaridades, o óleo vegetal de cada planta possui características que os tornam únicos, podendo ser empregue, portanto, para diferentes fins.

O potencial lubrificante de um óleo é essencial para o desempenho dele na formulação de um fluido de corte, já que essa é uma característica básica deste tipo de insumo. De acordo com Adhvaryu, Erhan e Perez (2004), os óleos vegetais, em comparação com os óleos minerais, têm melhores propriedades lubrificantes devido à sua composição molecular e estrutura química. A característica polar das moléculas de óleos vegetais se alinha à superfície metálica, formando um filme lubrificante que pode suportar tensões consideráveis, reduzindo as forças de usinagem. As moléculas de triacilglicerol, base do óleo vegetal, se orientam com a extremidade polar voltada para a superfície do metal, produzindo, assim, uma estrutura em camadas.

Todo esse fenômeno, na prática, resulta em um filme superficial com potencial para inibir o contato metal-metal e a progressão de asperezas de sua superfície. A presença de um grupo polar com uma

longa cadeia de hidrocarbonetos torna o óleo vegetal um surfactante anfifílico por natureza, permitindo que seja usado como um lubrificante de alta resistência. Por outro lado, eles, em geral, possuem menor resistência a pressões extremas, em comparação com os óleos minerais (SYAHIR et al., 2017).

Tratando agora sobre as características do óleo essencial de plantas, é necessário entender, primeiramente, o que é um óleo essencial e a sua diferença para os óleos vegetais. De acordo com Reis et al. (2020), os óleos essenciais podem ser descritos como compostos naturais complexos, voláteis, lipofílicos e odoríferos, presentes em plantas aromáticas e que possuem diversas propriedades biológicas e funcionais, sendo responsáveis pelos diversificados odores que as plantas emanam. Quimicamente, são compostos por álcoois simples, terpenos, aldeídos, fenóis, cetonas, ésteres, óxidos, peróxidos, ácidos orgânicos, cumarinas, lactonas e compostos contendo enxofre, diferenciando-os dos óleos vegetais comuns, que são basicamente compostos de ácidos graxos.

A essência forte e a natureza volátil desses óleos se devem ao seu processo de extração, geralmente por meio de arraste a vapor com matéria orgânica das folhas, raízes, frutos ou outras partes da planta que contenha maior quantidade da substância, facilmente identificável pelo aroma que exala. Uma das principais características dos óleos essenciais são suas propriedades antimicrobianas, podendo atuar contra fungos, protozoários e vírus, visto que essas substâncias compõem o sistema de defesa da planta, agindo contra diversos tipos de microrganismos, com seus principais constituintes sendo responsáveis por essa e outras atividades biológicas (SOARES, 2020; VIERA et al., 2020).

Assim, após entender melhor sobre a composição dos óleos vegetais e óleos essenciais de plantas e o potencial de ambos como componentes para a elaboração de fluidos de corte, é necessário tratar especificamente sobre os óleos vegetais que serão utilizados na presente pesquisa, sendo eles o óleo de algodão, de mamona e o óleo essencial de melaleuca.

2.1.1 ÓLEO DE ALGODÃO

O algodão é uma fibra vegetal esbranquiçada que cresce em volta das sementes de algumas espécies de algodoeiro (*Gossypium* L.), planta da família Malvaceae. As sementes de algodão são excelentes fontes de óleo e proteína de baixo custo para formulações alimentícias, principalmente, sobretudo pela alta qualidade de seus ácidos graxos e aminoácidos. O óleo de algodão comercial é derivado das sementes de duas subespécies de algodoeiro, a *Gossypium hirsutum*, também conhecido como

algodoeiro americano, e a *Gossypium barbadense* com o nome popular de algodoeiro egípcio, que são as espécies mais plantadas, dada a alta produção de fibra e de óleo (COELHO, 2021).

Segundo Silva, Maia e Damasceno (2015), a obtenção do óleo de algodão se dá por meio de 3 etapas básicas, sendo elas: armazenamento das sementes oleaginosas; preparação da matéria prima; extração. Os autores também citam que o óleo de algodão possui diversas aplicações comerciais, sendo a principal como insumo para o preparo de alimentos, mas também é aplicado na indústria cosmética, farmacêutica e na produção de biodiesel.

O estudo de Jacobina, Fraga e Neto (2016) ressaltam que o óleo de algodão pode ser utilizado para produção de biodiesel, sobretudo em composição com outros tipos de óleo, como o de soja e o de milho, gerando um combustível de alta qualidade. Além disso, a pesquisa de Borges et al. (2022) destacam as propriedades lubrificantes do óleo de algodão, podendo ser utilizado, portanto, como biolubrificantes ou na composição de outros produtos que necessitam desta característica, tendo como principal vantagem o fato de ser renovável e não agredir o meio ambiente ao ser descartado.

2.1.2 ÓLEO DE MAMONA

A mamona (*Ricinus communis* L.), também conhecida como pé-de-mamona, mamoneira e carrapateira, trata-se de uma planta da família das euforbiáceas, tendo origem na Ásia meridional. O principal produto gerado pela mamona é o seu óleo, também conhecido como óleo de rícino, extraído de suas sementes. O óleo de mamona é utilizado nas mais variadas indústrias como lubrificante, sendo o único óleo vegetal naturalmente hidroxilado, em escala comercial. Essa propriedade única do óleo de mamona advém do fato de que suas moléculas são formadas por uma hidroxila (OH), em ligação na cadeia de carbono, algo que, em escala comercial, é a única que possui de forma natural, sendo altamente desejável na indústria química, utilizado como base para a produção de hidróxido de sódio (fabricação de papel, tecidos, detergentes, alimentos e biodiesel) e hidróxido de potássio, (fertilizante para a agricultura) (SOARES, 2013).

Outra característica relevante do óleo de mamona é que ele é composto predominante (entre 80 a 90%) por um único ácido graxo, o ácido ricinoleico, o que lhe confere importantes propriedades químicas atípicas, como uma alta viscosidade e solubilidade em álcool a baixa temperatura. Em relação as desvantagens, pode-se citar com a principal a sua baixa estabilidade à oxidação, assim como a grande maioria dos óleos vegetais (SOUSA JUNIOR et al., 2022).

Campos (2015) relata que o óleo da mamona tem 30% mais lubricidade do que os demais óleos vegetais e que este pode substituir o enxofre, por exemplo, em uma porcentagem de 100% no diesel mineral, sendo considerado então, no mercado, como um óleo especial. Sousa Júnior et al. (2022) afirmam que o óleo de mamona pode ser utilizado para diversos fins, como, por exemplo, para a fabricação de tintas e isolantes, lubrificantes, na manufatura de cosméticos, medicamentos farmacêuticos e em outros processos industriais.

2.2.3 ÓLEO DE MELALEUCA

Sobre o óleo essencial de melaleuca, de acordo com Assis (2017), essa planta trata-se de uma espécie arbórea pertencente à família Myrtaceae, de ampla ocorrência na América Tropical, e Leptospermoideae, que ocorre principalmente na Austrália, Malásia e Polinésia. No presente estudo, foi utilizado o gênero *Melaleuca alternifolia*, conhecida como tea tree, ou seja, árvore do chá. A árvore possui uma estatura alta, casca fina e folhas longas que, quando são partidas, exalam um forte aroma, sendo a parte que possui o óleo essencial em maior quantidade. Elas florescem principalmente em áreas de pântano e próximas de rios, atingindo cerca de sete metros de altura, sendo cortadas após 15 meses do cultivo e recortadas a cada ano, devido ao seu crescimento rápido (OLIVEIRA et al., 2015; NEPOMOCENO; PIETROBON, 2020).

Em relação as propriedades do óleo essencial de melaleuca, Silva et al. (2019) argumentam que ele possui diversas propriedades terapêuticas, podendo ser utilizado como cicatrizante e antimicrobiano, além de ser cientificamente comprovada a sua eficácia para o tratamento de doenças infecciosas, como a candidíase e herpes simplex. No âmbito industrial, além da sua clara função na composição de cosméticos e medicamentos fitoterápicos, o óleo de melaleuca também pode ser adicionado na composição de diferentes insumos, a exemplo de fluidos de corte, para atuar como agente bactericida. Após entender melhor sobre os óleos vegetais de algodão e mamona, além do óleo essencial de melaleuca, todos eles objetos de investigação do presente estudo, é preciso tratar sobre o funcionamento do tribômetro, o que é tratado no próximo tópico.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este capítulo trata sobre os procedimentos, materiais e técnicas utilizadas para a realização dos ensaios e obtenção dos resultados de pesquisa, como a preparação do tribômetro para a realização do teste, o preparo das emulsões com óleo vegetal de mamona, algodão e óleo essencial de melaleuca,

as etapas para a realização dos ensaios e os cálculos para encontrar o volume perdido em função da massa e o coeficiente de desgaste.

3.1 PREPARO DAS EMULSÕES COM OS ÓLEOS VEGETAIS DE ALGODÃO E MAMONA E ÓLEOS ESSENCIAL DE MELALEUCA

Para os ensaios que foram realizados no tribômetro, foram desenvolvidas seis emulsões contendo diferentes formulações a base de óleo vegetal de mamona e algodão (características lubrificantes) e óleo essencial de melaleuca (atividade antimicrobiana), além de outros insumos, como água destilada (refrigeração, solvente), nanopartícula de prata (atividade antimicrobiana, lubrificante sólido), propilenoglicol (refrigeração) e Tween 80 (emulsificante).

Os fluidos foram formulados no laboratório de química, do Centro de Ciências Biológicas, da Universidade Estadual de Londrina (UEL). Para a produção das emulsões, foram seguidas as diretrizes do próprio laboratório, conforme traz a Figura 1.

Figura 1 - Recomendações para formulação de fluidos de corte com o uso de óleos vegetais pelo Laboratório de Química do Centro de Ciências Biológicas da UEL

Ensaio/formulação	1	2	3	4	5	6
Água destilada	35-40%	35-40%	---	---	---	---
Óleo essencial	---	1-5%	1-5%	---	1-5%	1-5%
Óleo vegetal de algodão	---	---	1-2%	1-2%	---	3-5%
Óleo vegetal de mamona	1-5%	1-5%	---	---	1-2%	---
Nanopartícula de prata	---	1-5%	1-5%	---	1-5%	1-5%
Propilenoglicol	44-48%	35-40%	86-90%	90-95%	86-90%	80-85%
Tween 80	5-10%	5-10%	1-5%	1-5%	1-5%	1-5%

Fonte: Laboratório de Química do Centro de Ciências Biológicas da UEL (2022)

Com base em tais diretrizes, foram produzidos 6 tipos de emulsões, sendo que cada uma foi ensaiada com o seu respectivo disco, formando a amostra (disco e fluido). A amostra 1 utilizou o fluido denominado de Fluido 4CLT, composto por 46% de propilenoglicol, 5% de óleo de mamona, 10% de tween 80, 39% de água destilada. Na segunda amostra foi utilizado o Fluido 4, composto por 39% de propilenoglicol, 2% de óleo de melaleuca, 5% de óleo de mamona, 5% de nanopartícula de prata, 10% de tween 80 e 39% de água destilada. A terceira amostra utilizou o Fluido 18 Biocida, formulado com

87% de propilenoglicol, 2% de óleo de algodão, 1% de óleo essencial de melaleuca, 5% de nanopartícula de prata e 5% de tween 80. Já na quarta amostra foi aplicado o Fluido 18 CTL, composto por 93% de propilenoglicol, 2% de óleo de algodão, 5% de tween 80.

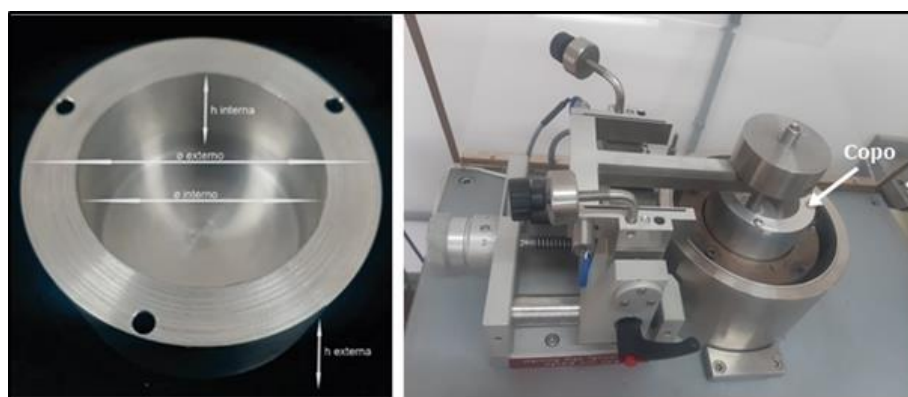
Na quinta amostra usou-se o Fluido 13 Biocida, foi composto por 87% de propilenoglicol, 1% de óleo essencial de melaleuca, 2% de óleo de mamona, 5% de nanopartícula de prata e 5% de tween 80. A sexta amostra utilizou o Fluido 10 Biocida, que consiste em 85% de propilenoglicol, 2% de óleo de mamona, 3% de óleo de algodão, 5% de nanopartícula de prata e 5% de tween 80. Além dos fluidos desenvolvidos, também foi realizado um teste com um fluido de corte comercial e um teste a seco, sem fluido.

3.3 ENSAIO TRIBOLÓGICO

Os ensaios foram desenvolvidos no laboratório MULTILAB, da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Foi utilizado o tribômetro pino-disco, modelo *HIGH Temperature Tribometer*, da instituição. Pensando em melhorar a eficiência dos ensaios de desgaste, foi realizada uma adaptação no tribômetro, incluindo um copo feito de liga de Alumínio 6061, o mesmo material utilizado nos discos, de diâmetro externo e interno menor ao original do equipamento, a fim de manter as emulsões testadas sob o disco mais uniforme sobre a superfície em teste.

Antes de iniciar os ensaios foi necessário uma adaptação do equipamento, para realizar o ensaio com amostras líquidas. Confeccionou um copo de adaptação com as dimensões: 74,81 mm de diâmetro externo; 51,59 mm de diâmetro interno; 38,31 mm de altura externa, e; 28,51 mm de altura interna. A Figura 2 apresenta o copo de alumínio desenvolvido para a adaptação no tribômetro (à esquerda) e o copo já instalado no equipamento (à direita).

Figura 2– Dimensões do copo adaptado (à esq.) e copo adaptado instalado no equipamento (à dir.)



Fonte: Acervo pessoal (2022)

O primeiro passo para a realização do ensaio foi a preparar os corpos-de-prova, isto é, os discos, que serão utilizados no teste de desgaste. Cada um dos corpos de prova foi usinado a partir de um mesmo tarugo de liga de Alumínio 6061, sendo essa uma liga de Alumínio bastante utilizada e que possui diversas aplicações e que tem como principal característica a sua resistência a elevadas tensões, permitindo a sua aplicação na construção naval, de veículos, de equipamentos elétricos, de rebites e de peças de precisão (HIGUEIRA-COBOS; FLOREZ-GARCIA; PEDRAZA-YEPES, 2019). As principais características físico-químicas dessa liga de alumínio, obtidas por meio da literatura, são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades físico-químicas da liga de alumínio 6061

Liga de Alumínio 6061								
Propriedades químicas (%)	Mg	Fe	Cu	Mn	Al	Si	Zn	Ti
	0,8 - 1,2	0 - 0,7	0,15 - 0,4	0 - 0,15	Restante	0,4 – 0,8	0 – 0,25	0 - 015
Propriedades Físicas	Densidade		Dureza		Ponto de Fusão		Módulo de elasticidade	
	2,71 g/cm³		95 HB		580 – 650°C		69000 MPa	

Fonte: Indusmart (2023)

Após a usinagem, foi realizado o lixamento da superfície dos discos, para melhor acabamento superficial, de modo a contribuir para análise via MEV após o ensaio tribológico, sendo utilizadas lixas de granulometria 600 e 1200, respectivamente. Após o processo de preparo das superfícies, cada um dos discos foi pesado em uma balança de precisão modelo AY220, com medida máxima de massa de 220 gramas e mínima de 0,01 grama. Neste momento, eles foram identificados para receber cada um dos fluidos desenvolvidos para o estudo. Assim, cada uma das amostras foi fixada no equipamento, junto com seu respectivo fluido de teste, dando início ao mesmo, que teve duração média de 10 minutos, cada. Após o teste, as amostras foram limpas e pesadas novamente na balança de precisão, a fim de verificar se houve uma redução de massa. Em seguida, as amostras foram analisadas por meio de MEV (Microscopia Eletrônica de Varredura), a fim de analisar a superfície desgastada.

Os ensaios foram realizados com tempo, carga, velocidade e quantidade de fluido constante. Para cada ensaio, foi realizado um ensaio e uma réplica, de modo verificar se houve variações significativas entre os resultados, que podem ocorrer por interferência externa (mudanças de temperatura, presença de sujeira na superfície do corpo-de-prova, etc.). Caso detectado uma diferença significativa, seria realizado um novo teste, a fim de corroborar com um dos resultados obtidos. Os testes foram feitos mediante consulta bibliográfica e condições do equipamento, considerando a capacidade do mesmo e no intuito mimetizar, ao máximo, uma situação real de desgaste por atrito em um processo de usinagem. Os parâmetros utilizados no ensaio tribológico pino-disco são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros utilizado no ensaio tribológico

Raio	Distância	RPM	Força
5 mm	50 m	152,7887	5 N

Fonte: Autoria própria (2022)

A força utilizada no ensaio foi de escolhida de acordo com as condições do próprio ensaio adaptado, pois dependia da fixação das amostras no copo adaptado. A esfera da ponta do pino, superfície que entrou em contato com a do disco, é feita de carboneto de tungstênio, um material consideravelmente mais duro que o utilizado para a fabricação dos discos (entre 1200 a 1400 HV), fazendo com que o desgaste seja mais acentuado nos mesmos. Para o procedimento de MEV, os ensaios foram feitos sob supervisão da técnica do laboratório do Complexo de Laboratórios Multiusuários da Universidade de Ponta Grossa.

3.4 CÁLCULO DA PERDA DE VOLUME E COEFICIENTE DE DESGASTE

Para realizar o cálculo da perda de volume e o coeficiente de desgaste, foram utilizadas as equações sugeridas pela norma ASTM G99 - Método de teste padrão para teste de desgaste em aparelho pino-disco. Segundo a norma, existem diferentes caminhos para se chegar à perda de volume no corpo de prova (disco) em ensaios de desgaste deste tipo, sendo que, para o presente trabalho, será calculado a perda de volume em função da variação de massa antes e após o ensaio, obtido por meio da Equação 3.1 (ASTM, 2017).

$$V = \frac{\Delta m}{\rho} \quad (3.1)$$

Em que:

V = Volume perdido (cm^3);

Δm = Diferença entre a massa antes e após o teste (g);

ρ = Densidade do material usado para o teste (g/cm^3).

Com o valor da perda de volume, é possível calcular, com mais algumas informações do material e das condições de ensaio, o coeficiente de desgaste k , do modo que mostra a Equação 3.2 (ASTM, 2017).

$$k = \frac{H \cdot V}{P \cdot L} \quad (3.2)$$

Em que:

k = Coeficiente de desgaste ($\text{mm}^3/\text{N.m}$);

H = Dureza Brinell (HB);

P = Carga do Pino (N);

L = Distância percorrida (m).

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Conforme mencionado, o estudo fora realizado por meio de análise tribológica com ensaio pino-disco, uma vez ele permite entender o comportamento do atrito, do desgaste e da lubrificação das superfícies em contato e que interagem em um movimento relativo. As amostras em questão foram submetidas aos ensaios, realizado sobre os mesmos padrões, a fim de realizar um levantamento mais preciso. A velocidade utilizada nos ensaios foi de 152,7887 rpm, ou 2,5465 Hz, percorrendo uma distância de 50 metros.

Cabe salientar que, para cada um dos resultados das amostras, foi realizado um ensaio e uma réplica, não sendo identificadas variações significativas, sendo adotado como resultado oficial o ensaio em que houve maior variação entre a massa antes e após o teste. A Tabela 3 apresenta as amostras com seu respectivo fluido de teste, diâmetro, altura e massa do disco.

Tabela 3 - Identificação das amostras com os fluidos para o ensaio tribológico, além de seu diâmetro e altura.

	<i>Denominação</i>	<i>Diâmetro</i>	<i>Altura</i>	<i>Massa inicial</i>
<i>Amostra 1</i>	Fluido 4CTL	31,11 mm	10,12 mm	20,8436 g
<i>Amostra 2</i>	Fluido 4	31,20 mm	10,08 mm	20,7935 g
<i>Amostra 3</i>	Fluido 18 Biocida	31,16 mm	10,02 mm	20,5367 g
<i>Amostra 4</i>	Fluido 18 CTL	31,17 mm	10,22 mm	20,9160 g
<i>Amostra 5</i>	Fluido 13 Biocida	31,16 mm	10,20 mm	20,8487 g
<i>Amostra 6</i>	Fluido 10 Biocida	31,20 mm	10,10 mm	20,7458 g
<i>Amostra 7</i>	Fluido comercial	31,18 mm	10,17 mm	20,8737 g
<i>Amostra 8</i>	Sem fluido	30,96 mm	10,21 mm	20,8193 g

Fonte: Autoria própria (2022)

Assim, serão apresentados os resultados do coeficiente de desgaste e da análise visual do desgaste via MEV em cada uma das amostras, a partir dos fluidos de corte utilizados.

4.1 ANÁLISE DA PERDA DE VOLUME POR MASSA E DO COEFICIENTE DE DESGASTE DAS AMOSTRAS

Conforme citado, ao fim de cada ensaio, as amostras foram pesadas, a fim de se obter a diferença de massa antes e após o teste. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos de perda de massa em cada uma das amostras.

Tabela 4 - Análise de perda de massa das amostras

	Massa inicial	Massa final	Diferença massa
Amostra 1	20,8436 g	20,8428 g	0,0008 g
Amostra 2	20,7935 g	20,7932 g	0,0003 g
Amostra 3	20,5367 g	20,5313 g	0,0054 g
Amostra 4	20,9160 g	20,9127 g	0,0033 g
Amostra 5	20,8487 g	20,8440 g	0,0047 g
Amostra 6	20,7458 g	20,7408 g	0,0050 g
Amostra 7	20,8737 g	20,8686 g	0,0051 g
Amostra 8	20,8193 g	20,7108 g	0,1085 g

Fonte: Autoria própria (2022)

Com base nessas informações, e utilizando das demais já citadas, como as características físico-químicas da liga de alumínio 6061 utilizada (dureza e densidade) e os parâmetros de teste (distância percorrida e carga do pino), é possível aplicar as equações 3.1 e 3.2 para encontrar, respectivamente, o volume perdido em função da diferença de massa e a taxa de desgaste de cada uma das amostras. A Tabela 5 apresenta os parâmetros iniciais para os cálculos da perda de volume o coeficiente de desgaste de cada uma das amostras.

Tabela 5 - Parâmetros iniciais para os cálculos da perda de volume e coeficiente de desgaste das amostras

Parâmetros Iniciais	
Densidade do material (ρ)	2,71 g/cm ³
Dureza Brinnel do material (H)	95 HB
Carga do Pino (P)	5 N
Distância percorrida (L)	50 m

Fonte: Autoria própria (2022)

Assim, com base nessas informações, foi utilizado o software Microsoft Excel®, para a realização dos cálculos, cujo os resultados são apresentados na Tabela 6.

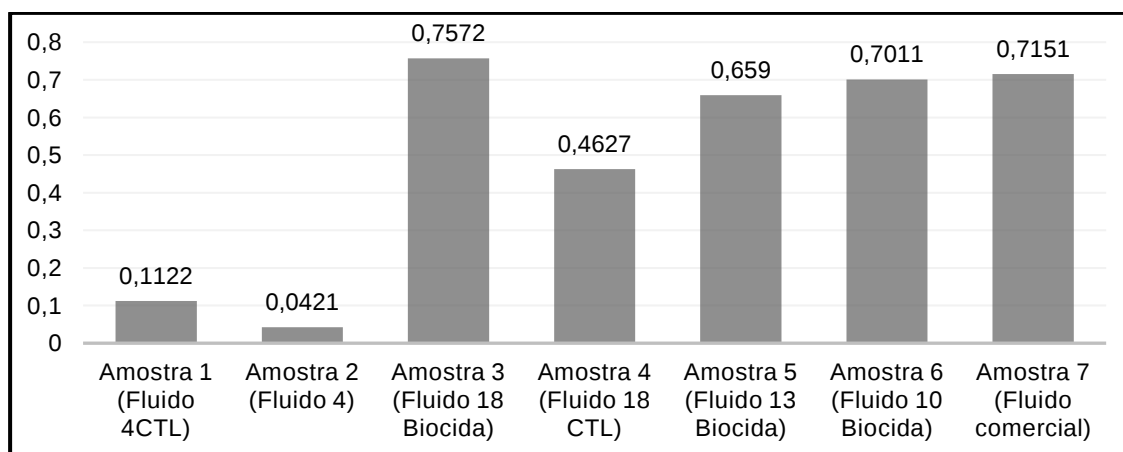
Tabela 6 - Volume perdido, em mm^3 , e coeficiente de desgaste, em $\text{mm}^3/\text{N.m}$, de cada uma das amostras ensaiadas com seus respectivos fluidos

Amostra	Diferença de massa Δm (g)	Volume perdido V (mm^3)	Coeficiente de desgaste k ($\text{mm}^3/\text{N.m}$)
Amostra 1	0,0008	0,2952	0,1122
Amostra 2	0,0003	0,1107	0,0421
Amostra 3	0,0054	1,9926	0,7572
Amostra 4	0,0033	1,2177	0,4627
Amostra 5	0,0047	1,7343	0,6590
Amostra 6	0,0050	1,8450	0,7011
Amostra 7	0,0051	1,8819	0,7151
Amostra 8	0,1085	40,0369	15,2140

Fonte: Autoria própria (2022)

Como pode ser visto, o coeficiente de desgaste da amostra 8 ($k = 15,214 \text{ mm}^3/\text{N.m}$), em que foi realizado o ensaio a seco, é consideravelmente maior do que as demais, demonstrando que todos os fluidos ensaiados, em algum nível, conseguiram reduzir o desgaste no corpo-de-prova. Agora, para melhor visualização, o Gráfico 1 apresenta os resultados apenas das amostras que utilizaram algum fluido, excluindo a ensaiada a seco.

Gráfico 1 - Coeficiente de desgaste de todas as amostras com fluido, em $\text{mm}^3/\text{N.m}$



Fonte: Autoria própria (2022)

Como pode ser observado no Gráfico, o menor coeficiente de desgaste foi obtido na amostra 2 ($k = 0,0421 \text{ mm}^3/\text{N.m}$), em que se utilizou o Fluido 4, composto de 39% de propilenoglicol, 2% de óleo de melaleuca, 5% de óleo de mamona, 5% de nanopartícula de prata, 10% de tween 80 e 39% de água destilada. Já o pior resultado foi alcançado na amostra 3, com o Fluido 18 Biocida, formulado com 87%

de propilenoglicol, 2% de óleo de algodão, 1% de óleo essencial de melaleuca, 5% de nanopartícula de prata e 5% de tween 80.

Antes de compreender esses resultados, é preciso entender que o teste pino sobre disco, ou apenas pino-disco, de acordo com Bourithis, Papadimitrou e Sideris (2006) é um ensaio que investiga, principalmente, dois tipos de mecanismos de desgaste, o abrasivo e o adesivo, sendo que ambos estão intrinsicamente ligados. O desgaste por abrasão pode ocorrer de duas formas: deslizamento (dois corpos) e rolamento (três corpos).

Assim, durante o ensaio, ocorre a abrasão por deslizamento, que, por sua vez, auxilia no mecanismo de adesão, retirando material da superfície do corpo de prova. Esse material aderido ao pino, que é a superfície mais dura, pode se desprender e, por sua vez, dar início ao desgaste abrasivo por deslizamento, além das próprias impurezas que podem estar sob a superfície de teste (BOURITHIS; PAPADIMITROU; SIDERIS, 2006).

Ambos os mecanismos de desgaste estão ligados com o atrito, o qual é atenuado com o uso de lubrificantes, já que eles formam uma fina camada superficial sobre o material, impedindo ou reduzindo o contato entre as superfícies dos materiais (RIBEIRO FILHO et al., 2015). Assim, pode-se afirmar que, nas amostras em que o coeficiente de desgaste foi menor, o fluido possui melhor capacidade lubrificante, mas também, refrigerante, já que o atrito produz calor e o mesmo afeta a viscosidade do fluido, o que, por sua vez, acarreta em uma redução da lubrificação que gera.

Com isto posto, é possível entender melhor os resultados encontrados nos ensaios. Neste ponto, é necessário apontar que os dois melhores resultados foram obtidos nas amostras 2 e 1 (Fluido de 4CLT), respectivamente, sendo os que utilizaram a maior concentração de óleo de mamona em sua composição. A amostra 2, que obteve o melhor resultado, também continha óleo essencial de melaleuca e nanopartículas de prata.

Em relação a capacidade lubrificante do óleo de mamona, Farias et al. (2021), em estudo sobre a possibilidade de utiliza-lo na síntese de biodiesel e biolubrificantes, afirmam que ele é uma boa opção para tais fins, uma vez que se trata de um ácido graxo saturado com baixa acidez e alta viscosidade. Em estudo sobre a viabilidade de aplicação comercial do mesmo, os autores salientam que ele pode ser usado em sua forma bruta como biolubrificantes ou como aditivo para a produção de insumos que necessitam dessa característica.

Cabe salientar que o óleo de mamona é uma substância reconhecida pela sua capacidade de compor fluidos de corte, sendo que, a partir dela, foi criado o primeiro óleo vegetal de corte, em uma pesquisa realizada na Universidade de São Paulo (USP), campus de São Carlos. De acordo com Reynol (2009), a escolha pelo óleo de mamona para a produção deste óleo de corte se deu pelo fato de ele manter a sua capacidade lubrificante em alta pressão, sem exigir aditivos, sendo essa a principal aplicação dos óleos como fluido de corte.

Para além das qualidades do óleo de mamona, outros pontos podem ter influenciado no melhor desempenho das amostras 1 e 2, como o fato de serem os únicos fluidos testados com água destilada em sua composição e menor teor de propilenoglicol. De acordo com Medeiros, Barbosa e Fontes (2010) propilenoglicol é um composto orgânico (álcool diol) com alta capacidade refrigerante e diversas aplicações na indústria. Entretanto, com base nos resultados obtidos, a sua alta concentração pode reduzir a lubricidade do composto, já que os fluidos com uma menor proporção dessa substância e com adição de água obteve melhores resultados.

Cabe salientar também que a adição de nanopartículas de prata pode ter auxiliado no menor coeficiente de desgaste da amostra 2 em comparação com a 1. De acordo com Fissmer, Massi e Santos (2011), as nanopartículas de prata podem ser utilizadas como agente antimicrobiano e como lubrificante sólido, uma vez que elas adentram nos picos e vales microscópicos da superfície do metal, tornando a superfície menos rugosa (mais lisa) e, conseqüentemente, reduzindo o atrito.

Os fluidos que continham óleo de algodão tiveram um coeficiente de atrito maior no corpo-de-prova em relação as que utilizaram apenas óleo de mamona ou óleo de mamona e óleo essencial de melaleuca. Apesar desses achados, o óleo de algodão já foi investigado quanto a sua capacidade de promover a lubrificação em atividades de usinagem, conforme traz a pesquisa de Souza et al. (2022), na qual os autores afirmam que este óleo vegetal tem um bom desempenho ao ser aplicado no torneamento cilíndrico de uma peça de aço AISI 316, reduzindo a rugosidade média da superfície do material e a potência necessária para o corte.

Cabe salientar que todos os fluidos em que o óleo de algodão foi aplicado tinham um maior teor de propilenoglicol, o que pode ter influenciado negativamente na lubricidade da emulsão. Essa afirmação é corroborada ao analisar a amostra 6 (Fluido 10 Biocida), que, mesmo contendo óleo de mamona, alcançou um coeficiente de atrito maior do que as amostras 1 e 2, cujo os fluidos também eram compostos por óleo de mamona, mas com um teor menor de propilenoglicol e adição de água.

Apesar das diferentes taxas de desgaste, cabe salientar que todas os fluidos de corte foram capazes de reduzir consideravelmente o desgaste no corpo-de-prova, ao se comparar com o ensaio realizado a seco, em que, mesmo a amostra com pior resultado dentre as que utilizaram fluidos (amostra 3), o coeficiente de desgaste no ensaio realizado a seco foi, aproximadamente, 2000% superior. Em relação aos fluidos à base dos óleos vegetais de mamona, algodão e óleo essencial de melaleuca, quase todas as amostras, com exceção da amostra 3, teve resultado superior (menor k) do que o fluido comercial utilizado para efeito de comparação, demonstrando, portanto, a eficácia dos mesmos em reduzir o desgaste.

É preciso dizer que não existem normas para definir quais as taxas de desgaste aceitáveis para fluidos de corte, uma vez que eles possuem diferentes finalidades, podendo ter uma ou outra característica mais acentuada, de acordo com a necessidade do uso, entretanto, quando se exige uma capacidade lubrificante, este deve cumprir o seu papel, reduzindo \ efetivamente o atrito e, desta forma, o desgaste das ferramentas de corte, além de facilitar o processo de usinagem.

Por fim, é preciso salientar que a composição dos fluidos utilizados a base de óleo vegetal (amostra 1 a amostra 6) é menos tóxica e mais sustentáveis em comparação com outros fluidos comerciais que se utilizam de óleos fósseis. Os óleos vegetais de mamona e algodão e o óleo essencial de melaleuca não são tóxicos, sendo utilizados, inclusive, para a produção de cosméticos, na alimentação e possuem propriedades medicinais. Assim, os fluidos de corte a base desses compostos não causam mal ao homem.

Em relação a questão ecológica, os óleos vegetais provem de fontes renováveis, as plantas, e, portanto, são ecologicamente sustentáveis, ao contrário dos óleos minerais, obtidos por meio da extração de combustíveis fósseis, não renováveis e que, através de diferentes mecanismos, poluem o meio ambiente. Também, ao serem descartados, os fluidos de corte a base de óleo vegetal acarretam em menor impacto ambiental, pois se degradam mais rápido dos que os à base de óleo mineral.

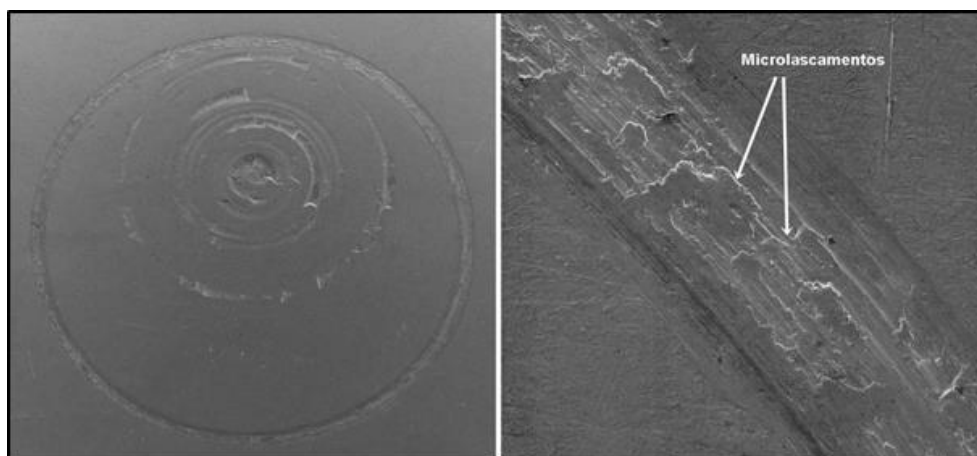
Assim, a partir dessas considerações e nos resultados obtidos nos cálculos, é possível dizer que os óleos vegetais de algodão, mamona e óleo essencial de melaleuca são alternativas viáveis em substituição aos óleos minerais na composição de fluidos de corte para fins de usinagem. A fim de entender melhor dos mecanismos de desgaste ocorridos nos ensaios, foi feita a análise das amostras por meio do MEV, cuja as imagens são apresentadas no tópico a seguir.

4.2 ANÁLISE DO DESGASTE DOS CORPOS DE PROVA

De acordo com Dedavid, Gomes e Machado (2007), a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é um tipo de microscopia utilizado em diferentes materiais, a qual utiliza um feixe de elétrons focalizados e que varre a superfície da amostra em análise, interagindo com a matéria, oferecendo diferentes informações sobre a morfologia e composição química do material. Essa interação entre elétrons e matéria é decodificada pelo equipamento e forma imagens de alta definição. Para efeito de comparação, serão apresentadas as imagens geradas das amostras em que foi utilizado fluido e que apresentaram menor e maior desgaste (amostra 2 e amostra 3, respectivamente), além da amostra em que o teste foi realizado a seco.

A Figura 4 apresenta a pista de desgaste no corpo-de-prova da amostra 2, que utilizou o Fluido 4, o qual obteve o menor coeficiente de desgaste entre as amostras ensaiadas. Ao visualizar a pista de desgaste, é possível afirmar que desgaste abrasivo é evidente, além de microlascamentos, que são lascamentos menores do que utilizados para definir o fim da vida útil da ferramenta. Observa-se também que a pista de desgaste é relativamente uniforme, o que indica que houve lubrificação pelo fluido testado, reduzindo a rugosidade superficial no corpo-de-prova.

Figura 4 - Pista de desgaste do corpo-de-prova da amostra 2 (Fluido 4)

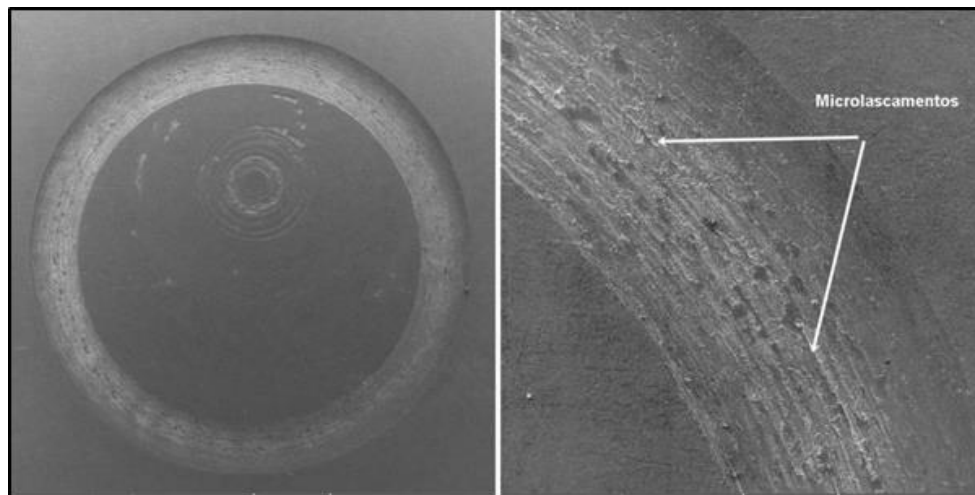


Fonte: Autoria própria (2022)

A Figura 5 apresenta a pista de desgaste da amostra 3, que utilizou o Fluido 18 Biocida e apresentou o maior coeficiente de desgaste entre as amostras testadas com fluido. Visualmente, é possível perceber que a pista de desgaste é mais larga e profunda em comparação com a amostra 2, indicando que houve maior desgaste. O principal mecanismo de desgaste foi o por abrasão, havendo evidências de microlascamentos. O desgaste também aparenta ter ocorrido de maneira uniforme em todo o trajeto,

o que remete a uma ação positiva do fluido utilizado, embora menos eficiente do que o utilizado na amostra 2.

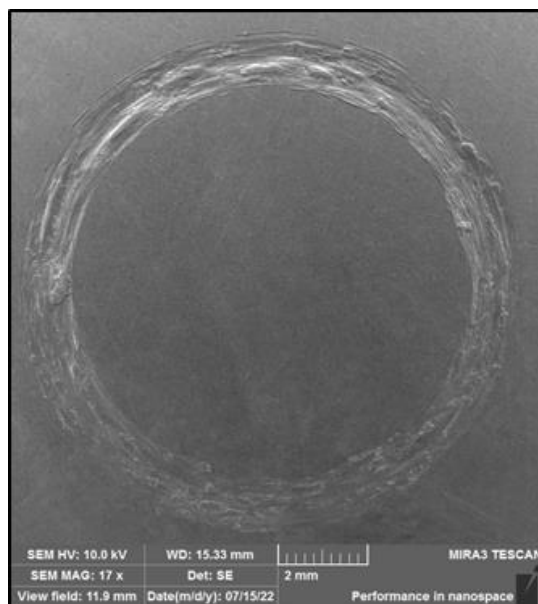
Figura 5 - Pista de desgaste do corpo-de-prova da amostra 3 (Fluido 18 Biocida)



Fonte: Autoria própria (2022)

Já a Figura 6 apresenta a superfície do corpo-de-prova da amostra 8, em que não foi utilizado fluido.

Figura 6 - Pista de desgaste do corpo-de-prova da amostra 8 (sem fluido)



Fonte: Autoria própria (2022)

Como é possível observar, a pista de desgaste é bastante irregular, comparando com as demais amostras, tanto em profundidade como em suas bordas, o que está ligado diretamente com a falta de lubrificação. A imagem corrobora também com alto coeficiente de desgaste identificado nesta

amostra ($k = 15,2140 \text{ mm}^3/\text{N.m}$), ressaltando a importância do uso de lubrificantes para evitar um desgaste excessivo na ferramenta de corte, além dos efeitos no acabamento superficial da peça usinada.

5 CONCLUSÕES

Ao fim do presente estudo, é possível afirmar que o objetivo de analisar o comportamento tribológico de desgaste de uma peça de liga de Alumínio 6061, com o uso de diferentes emulsões a base de óleo vegetais de mamona, algodão e óleo essencial de melaleuca foi atingido, em que se verificou que tais compostos podem ser utilizados em fluidos de cortes e substituir os óleos minerais para conferir a capacidade lubrificante necessária em tais insumos.

Apesar de variações, todas as amostras que utilizaram fluido tiveram um desgaste uniforme, o que está ligado diretamente com a capacidade de lubrificação desses compostos, algo que não ocorreu no ensaio realizado a seco, em que foi possível visualizar uma pista de desgaste bastante irregular, tanto em profundidade como em largura.

Dessa forma, é possível concluir que os óleos vegetais de mamona e algodão e o óleo essencial de melaleuca são opções viáveis para compor fluidos de corte para processos de usinagem, em substituição aos óleos minerais, apresentando as mesmas características desejáveis, além de serem mais sustentáveis.

REFERÊNCIAS

ADHVARYU, A.; ERHAN, S. Z.; PEREZ, J. M. Tribological studies of thermally and chemically modified vegetable oils for use as environmentally friendly lubricants. *Wear*, v. 257, n. 3-4, p. 359-367, 2004.

Alumínio6061T6.SítioeletrônicoIndusmart,2023.Acessoem:<https://www.indusmart.com.br/materiais/aluminio-6061-t6/>. Acesso em: 03 nov. 2022.

ASTM. American Society for Testing and Materials. ASTM G99-17: Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. ASM Society: United States, 5 p., 2017. Disponível em: <https://www.astm.org/g0099-17.html>. Acesso em: 03 nov. 2022.

BAYER, R. Mechanical Wear Fundamentals and Testing. 2ª ed. amp. e rev. Boca Raton: CRC Press, 2004.

BORGES, F. S. S. et al. Síntese de biolubrificante do óleo de algodão por catálise heterogênea a base de silicatos. *Open science research IV*, v. 4, n. 1, p. 620-631, 2022.

BOURITHIS, L.; PAPADIMITRIOU, G. D.; SIDERIS, J. Comparison of wear properties of tool steels AISI D2 and O1 with the same hardness. *Tribology International*, v. 39, n. 6, p. 479-489, 2006.

BRESSAN, José Divo; GILAPA, Leonidas M.; DAROS, Deivid Paganini. Influência do revenimento na resistência ao desgaste do aço villares d2. *Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração*, v. 4, n. 1, p. 53-58, 2013.

CAMPOS, E. S. C.; SANTOS, V. M. L. Estudo do processo de extração de óleo de mamona em cooperativas do polo São Francisco. *Engvista*, v. 17, n. 4, p. 477-490, 2015.

COELHO, J. D. Algodão: produção e mercados. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 6, n.166 2021.

COSTA, R. C. et al. Avaliação da resistência a corrosão de revestimentos metálicos depositados por aspersão térmica a arco: uma aplicação em trocadores de calor. *Soldagem & Inspeção*, v. 19, p. 292-301, 2014.

DACAS, F. P.; COSTA, R. Avaliação da Refrigeração de Corte Criogênica na Usinagem CNC do Aço Inoxidável Martensítico AISI 420. *Caderno de Propriedade Intelectual e Transferência de Tecnologia*, v. 2, n. 1, p. 35-47, 2020.

DEDAVID, B. A.; GOMES, C. I.; MACHADO, G. Microscopia eletrônica de varredura: aplicações e preparação de amostras: materiais poliméricos, metálicos e semicondutores. Porto Alegre: EdUPUCRS, 2007.

DIEHL, I. L.; DONG, J.; ROCHA, A. S. Propriedades do aço AISI 4140 nitretado a gás. *Matéria (Rio de Janeiro)*, v. 22, 2017.

FARIA, F. C. Tribologia. Caxias do Sul: ICM, 2017.

FARIAS, H. H. et al. Epoxidação metálica do óleo de mamona para síntese de biolubrificante. *Educação, Ciência e Saúde*, v. 8, n. 2, 2021.

FERRARESI, D. Fundamentos da usinagem dos metais. 18ª reimpressão. São Paulo: Editora Blucher, 2018.

HIGUERA-COBOS, O. F.; FLOREZ-GARCIA, L. C.; PEDRAZA-YEPES, C. A. Finite elements analysis of the deformation applied to the 6061-T6 aluminum alloy by equal channel angular pressing. *Revista Facultad de Ingenieria*, v. 28, n. 50, 2019.

JACOBINA, M. C. M.; FRAGA, I. M.; NETO, F. V. C. Influência da incorporação do óleo de algodão na estabilidade à oxidação do biodiesel produzido a partir de blendas de algodão e soja. *Acta Tecnológica*, v. 11, n. 1, p. 21-31, 2016.

KAWAZOWE, L. A. O óleo vegetal. *Food ingredients Brasil*, n.º 31, 2014.

LISBOA, F. C.; MORAES, J. J. B.; HIRASHITA, M. A. Fluidos de corte: uma abordagem geral e novas tendências. *Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, v. 33, p. 2-16, 2013.

MACHADO, A. R. et al. Teoria da usinagem dos materiais. Rio de Janeiro: Editora Blucher, 2015.

MAIA, D. A. S. et al. Fluidos de corte: novas formulações e recuperabilidade. In: 4º PDPETRO, 2007.

MALDANER, F. H. et al. Pesquisa de anterioridade de equipamentos para ensaios tribológicos através de análise de dados de patentes. In: *Proceedings of the 11th Brazilian Congress on Manufacturing Engineering—COBEF*, 2021.

MARQUES, F. M. et al. Análise de desgaste abrasivo do revestimento duro a base de carbonetos de cromo depositado por SMAW. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, v. 20, n. 2, p. 13, 2016.

MARQUES, F. M. et al. Caracterização de desgaste de brocas de HSS revestidas com ALCRN e não revestidas, em ensaios de furação, na usinagem de ferro fundido nodular DIN GGG 50. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Mecánica*, v. 19, n. 1, 2015.

MARTINS, J. P. P. Projeto de um Tribometro do Tipo Pino-Disco. 2017. 274 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Engenharia Mecânica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Cidadao do Porto Pt, 2017. Disponível em: file:///C:/Users/Poliedro01/Downloads/DM_JoaoMartins_2017_MEM-1.pdf. Acesso em: 06 out. 2022.

MOURA, C. W. et al. Desenvolvimento de material abrasivo para aplicação em ensaios de desgaste abrasivo a três corpos. In: 27ª Mostra Específica de Trabalhos e Aplicações, 2017.

NEPOMOCENO, T. A. R.; PIETROBON, A. J. Melaleuca alternifolia: uma revisão sistemática da literatura brasileira. *Uningá Review*, v. 35, p. eRUR3409-eRUR3409, 2020.

OLIVEIRA, J. F. G.; ALVES, S. M. Adequação ambiental dos processos usinagem utilizando produção mais limpa como estratégia de gestão ambiental. *Produção*, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 129-138, 2007.

OLIVEIRA, M. I. et al. Extração e caracterização do óleo essencial de melaleuca e desenvolvimento de uma formulação semi-sólida de uso tópico. *Revista Jovens Pesquisadores*, Santa Cruz do Sul, v. 5, n. 1, p. 123-134, 2015.

PORTNEY, K. E. Sustainability. MIT Press, 2015.

RAMOS, D. T. L. et al. Projeto de um banco de ensaio de desgaste do tipo "pin-on-disc". *Cerâmica*, v. 60, p. 443-448, 2014.

REIS, J. B. et al. Avaliação da atividade antimicrobiana dos óleos essenciais contra patógenos alimentares. *Brazilian Journal of Health Review*, v. 3, n. 1, p. 342-363, 2020.

REYNOL, F. USP São Carlos desenvolve o primeiro óleo vegetal de corte. *Conhecimento & Inovação*, v. 5, n. 3, p. 30-31, 2009.

RIBEIRO FILHO, P. R. B. et al. Propriedades físicas de óleos lubrificantes minerais e vegetais e avaliação de desgastes por four ball. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 5, n. 1, 2016.

SÁ, N. A. Fluidos de Corte. Escola Politécnica de Pernambuco, 2010, 16p.

SANKARANARAYANAN, R. et al. A comprehensive review on research developments of vegetable-oil based cutting fluids for sustainable machining challenges. *Journal of Manufacturing Processes*, v. 67, p. 286-313, 2021.

SILVA, E. F. M. et al. Análise de viabilidade da utilização do óleo de dendê na lubrificação automotiva através do ensaio pin-on-disk. *ForScience*, v. 7, n. 2, 2019.

SILVA, L. L. et al. Atividades terapêuticas do óleo essencial de melaleuca (*melaleuca alternifolia*) Uma revisão de literatura. *Brazilian Journal of health review*, v. 2, n. 6, p. 6011-6021, 2019.

SILVA, S. M.; MAIA, L. F. O; DAMASCENO, S. M. Estudo da extração de óleo do caroço de algodão por solvente alternativo. *Blucher Chemical Engineering Proceedings*, v. 1, n. 2, p. 3583-3590, 2015.

SOARES, C. H. E. Curcuma Longa L. vegetable oil characterization as cutting fluid base and Curcuma Longa L. essential oil antimicrobial properties analysis for machining application. 2020. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, 2020. Disponível em: https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/23246/1/Soares_Cinthia.pdf. Acesso em: 10 dez. 2022.

SOARES, Rogério Manhães. Avaliação Técnica, Mercadológica e de Tendências da Utilização Óleos Lubrificantes de Base Begetal. 2013. 131 f. Tese (Doutorado) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - Rj, 2013. Disponível em: http://epqb.eq.ufrj.br/wp-content/uploads/2021/04/13_49.pdf. Acesso em: 06 out. 2022.

SOUSA JUNIOR, F. S. et al. Qualidade do Óleo da Mamona Cultivada em Diferentes Altitudes no Rio Grande do Norte - Brasil. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável: Grupo Verde de Agricultura Alternativa*, Mossoró - Rn, p. 12-17, 06 out. 2022.

SOUZA, H. C. P. et al. Análise dos efeitos do uso de óleos vegetais aplicados na forma MQF na usabilidade do aço AISI 316 Analysis of the effects of using vegetable oils applied in MQF form on the usability of AISI 316 steel. *Brazilian Journal of Development*, v. 8, n. 5, p. 36691-36712, 2022.

STOETERAU, R. L. Fundamentos dos Processos de Usinagem. São Paulo: USP, 2003.

SUMARA, G. S. et al. Avaliação da resistência ao desgaste de revestimentos soldados para aplicação em britador de carvão mineral. *Revista Vincici-Periódico Científico do UniSATC*, p. 27-54, 2021.

SYAHIR, A. Z. et al. A review on bio-based lubricants and their applications. *Journal of cleaner production*, v. 168, p. 997-1016, 2017.

VERDI, J. Dispositivo Pino-Disco para Análise de Desgaste na Presença de Diesel e Biodiesel. 2011. 95 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Tecnologia de Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <https://tede2.pucrs.br/tede2/bitstream/tede/3191/1/436188.pdf>. Acesso em: 06 out. 2022.

VIANA, E. P.; VASCONCELOS, M. G.; VASCONCELOS, R. G. Análise do comportamento da resina composta frente aos diferentes mecanismos de desgaste: uma revisão de literatura. *SALUSVITA*, v. 40, n. 1, p. 158-178, 2021.

VIEIRA, V. A. et al. Avaliação do rendimento dos óleos essenciais em espécies de Piper. *Anais da Mostra Nacional de Iniciação Científica e Tecnológica Interdisciplinar (MICTI)*-e-ISSN 2316-7165, v. 1, n. 13, 2020.

Capítulo 14



10.37423/230307494

ENGENHARIA CIVIL - ANÁLISE DAS PATOLOGIAS EM ESTRUTURAS METÁLICAS PARA TORRES DE TELECOMUNICAÇÃO E INFLUÊNCIAS APLICADAS EM POSTE AUTOPORTANTE

Gleybson Lima

Universidade Guarulhos

João Antonio Silva

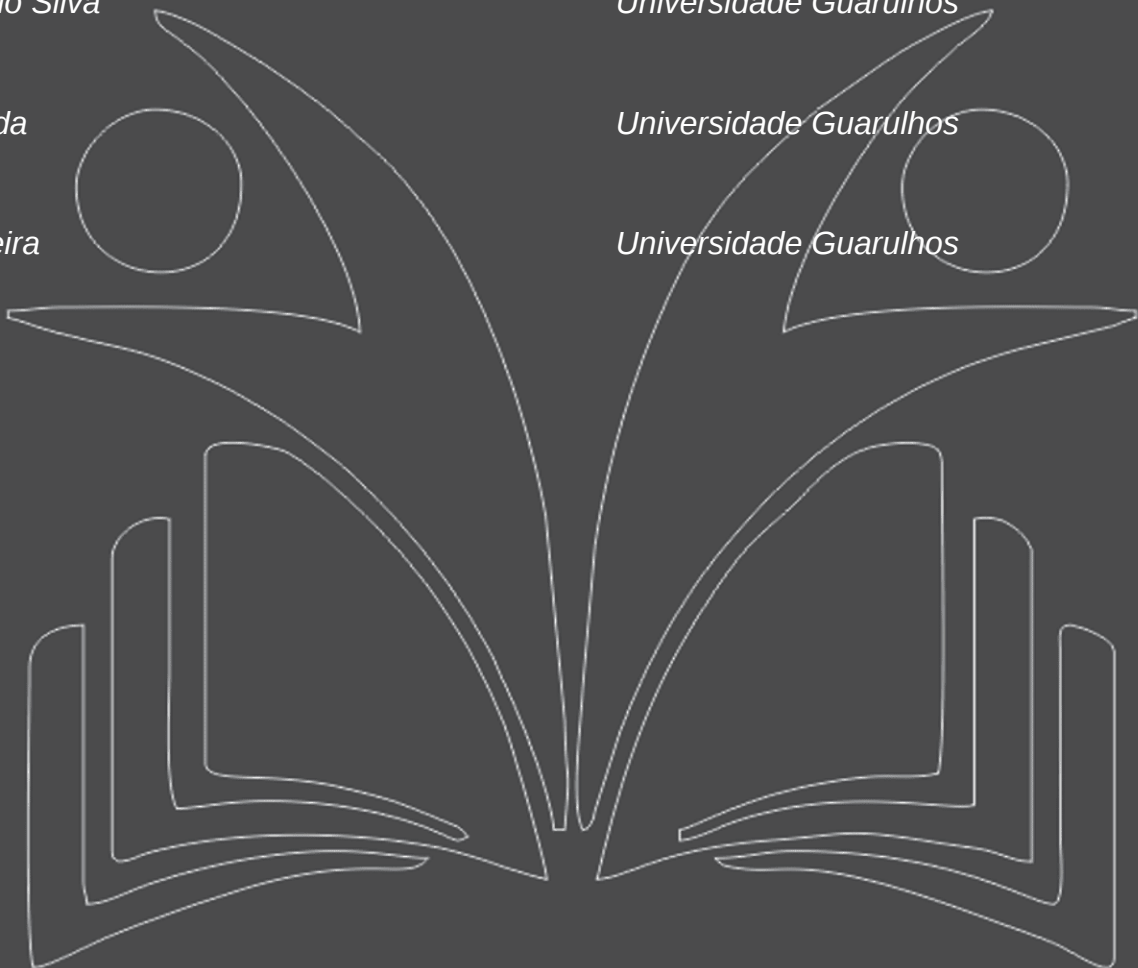
Universidade Guarulhos

Jose Almeida

Universidade Guarulhos

Victor Teixeira

Universidade Guarulhos



Resumo: Com a ampliação do sistema de telecomunicações no Brasil, desde meados dos anos 90, percebeu-se uma vasta necessidade de instalar torres voltadas para a transmissão de telefonia móvel, de modo a sanar as altas demandas do mercado. É necessário ressaltar que as torres devem suportar as cargas das antenas assim como as influências das ações naturais e intempéries climáticas. Para tanto, elas devem apresentar condições estruturais adequadas para resistir com segurança às atuações adversas. Mediante tal realidade, este trabalho tem por objetivo propor uma análise das principais manifestações patológicas encontradas nas estruturas de torres metálicas autoportantes, que comprometam sua capacidade e estabilidade estrutural, utilizando como embasamento teórico a pesquisa bibliográfica. Desse modo, espera-se que, ao fazer o levantamento das principais patologias, seja possível nortear os trabalhos com o intuito de prevenir a manifestação patológica, e assim assegurar a estabilidade e desempenho estrutural da mesma.

Palavras chaves: Estruturas metálicas – Postes de telecomunicação – Patologias

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento da área de telecomunicações relacionada à criação de telefones celulares, grandes estruturas foram necessárias para localizar as antenas transmissoras a fim de atender o maior número possível de clientes. Esse progresso começou na década de 1970, e com o advento da tecnologia de telecomunicações, seu desenvolvimento teve um aumento significativo no final da década de 1990. Porém, mesmo com o aumento na utilização dessas estruturas, ainda são poucas as pesquisas sobre o tema, principalmente no contexto nacional. O dimensionamento destas estruturas baseia-se essencialmente nas normas de estruturas metálicas, mas também existem procedimentos específicos para tal. No entanto, a nível nacional, os documentos encontrados são superficiais, e com baixo nível de detalhes e não envolve etapas importantes do projeto. Este fato, somado às inúmeras empresas internacionais atuantes no setor brasileiro, tem levado ao uso de modelos e padrões internacionais para o projeto de estruturas de telecomunicações, sendo necessária uma análise rigorosa das condições das torres para que as normas e procedimentos internacionais possam ser adaptados à realidade brasileira. Este trabalho tem como objetivo analisar as principais patologias em estruturas metálicas utilizadas especialmente para torres de telecomunicações. A análise incidirá sobre as condições de projeto, tais como falhas e detalhamento, a oxidação das estruturas, deformabilidade excessiva, apresentando assim as principais razões e mecanismos de manifestações patológicas em estruturas metálicas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho tem como objetivo apresentar as principais causas de manifestação das patologias nas estruturas metálicas, tendo como foco as estruturas de torres de telecomunicação, e com estudo de caso torres do tipo poste (PASL-C) e torre autoportante (TASL-C) com seção transversal triangular.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos desse trabalho são analisar as possíveis patologias que podem ocorrer em torres de telecomunicação; verificar dentro de estudo de caso as patologias existentes que ocorrem nas torres; encontrar as principais causas, tais como corrosão, sobrecargas, falta de manutenção e erros de projeto; sugerir soluções e metodologias de manutenção preventiva e corretiva para as ocorrências vistas no estudo de caso.

2.3 JUSTIFICATIVA

A engenharia tem como objetivo focar nos desempenhos satisfatórios relacionados em inovação, segurança e qualidade, visando métodos construtivos mais eficientes.

Segundo ROTHIER (2017) o surgimento da telefonia, a utilização das estruturas metálicas, classificadas como estruturas verticais, gerou a necessidade na utilização dessas estruturas, conhecida como torres de telecomunicação. Devido ao aumento na tecnologia de telecomunicação na década de 90, essas estruturas começaram a ser mais utilizada no Brasil, porém, como não existem normas específicas para esse tipo de estruturas, são utilizadas normas já existentes, relativas às estruturas metálicas.

2.4 DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

Rothier (2017) descreve diferentes tipos de estruturas capazes de suportar os equipamentos de transmissão de dados de telecomunicação, como por exemplo, torres, postes, mastro e cavaletes, sendo fixados no solo ou no topo de prédios. A escolha do modelo estrutural é feita considerando o local da instalação, carregamento máximo, altura desejada e a área disponível para a instalação da base.

Com base nessas informações, iremos analisar os padrões utilizados e correlacioná-los com as manifestações patológicas, e mostrar a real importância do cumprimento dos padrões para construção de torres de telecomunicações.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 TIPOS TORRES DE TELECOMUNICAÇÃO

3.1.1 TORRES AUTOPORTANTES

Segundo Zampiron (2008 apud ROTHIER, 2017), estas estruturas são reticuladas compostas por perfis metálicos, perfil cantoneira ou tubular, proporcionando maior economia nos materiais e, porém, baixa resistência aerodinâmica. Para a execução dessas torres é necessária uma área de solo máxima de 15 x 15. As torres autoportantes podem atingir até 120 metros.

Sharma, et al. (2015 apud ROTHIER, 2017), diz que o treliçado vertical da estrutura autoportante pode ser feito de diversas formas, variando principalmente na forma de contraventamento utilizado.

A figura 1 traz um modelo de torre autoportante para melhor entendimento.



Figura 1 – Torre autoportante

Fonte: Google (2020)

3.1.2 TORRES ESTAIADAS

Segundo Rothier (2017), torres estaiadas são mais esbeltas quando comparadas às autoportantes, diferenciando-se em relação a área de solo necessária para a instalação, já que depende dos estais e/ou escoras para suportar os esforços da torre, podendo chegar a 80 metros de diâmetro sua área de instalação.

Na figura 2a é apresentado um modelo computacional de torre estaiada, e na figura 2b um exemplo real.

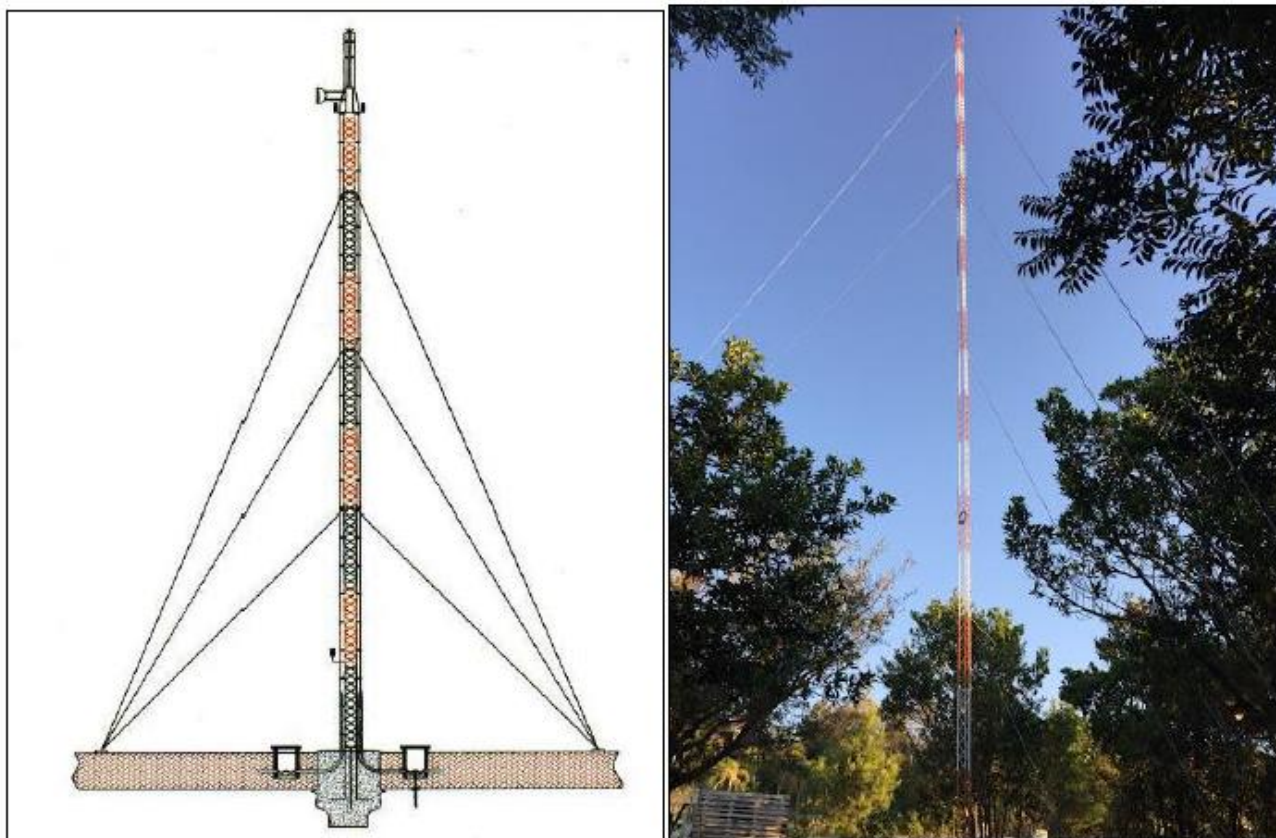


Figura 2a e 2b – Modelo computacional de uma torre estaiada e exemplo real de uma torre estaiada, respectivamente.

Fonte: Google (2020)

3.1.3 POSTES

Rothier (2017) descreve os postes como estruturas tubulares com diâmetros diferentes em cada seção da estrutura, sendo M1 (primeira seção) próxima a base, com o maior diâmetro, e o menor diâmetro em sua extremidade. Mais esbeltas que as torres estaiadas e as autoportantes, são capazes de se sustentar sem a necessidade de estais, podendo chegar a uma altura de 60 metros.

A figura 3 mostra uma ilustração do poste dividido por seções e um exemplo real de um poste.

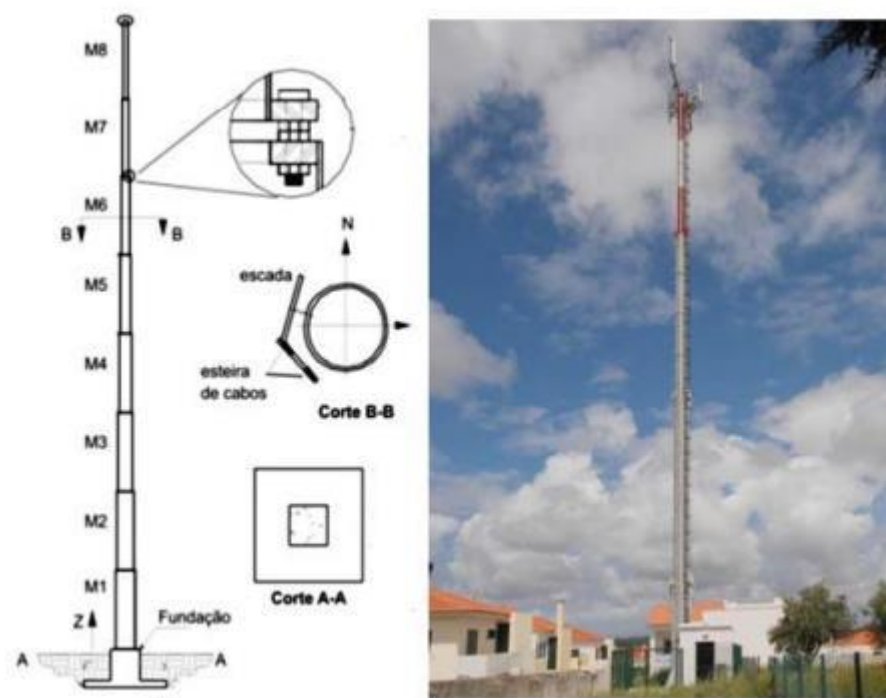


Figura 3 – Poste para telecomunicação: configuração estrutural e modelo real de poste

Fonte: Battista, et al. (2007 apud ROTHIER, 2017) e Murteira (2010 apud ROTHIER, 2017), respectivamente.

3.2 ESTADO LIMITE

Os estados limites são caracterizados pelo momento em que uma estrutura deixa de atender seus objetivos, por não garantir a segurança ou por não garantir o seu bom desempenho, tornando a estrutura inadequada ao uso. Para atender os objetivos citados, o estudo em estados limites é dividida em duas formas: (PINHEIRO, 2005; PFEIL & PFEIL 2009)

- Estado limite último (ELU): ele está relacionado diretamente com a segurança da estrutura, verificando o possível colapso ou ruptura, causado pela perda de equilíbrio de corpo rígido, ruptura em uma seção ou ligação, flambagem ou fadiga;
- Estado limite de serviço (ELS): ele está relacionado ao desempenho da estrutura, para que ela não tenha suas condições de uso afetadas, apresentando ao usuário uma sensação de segurança, desde que se garanta a inexistência de deformações ou vibrações excessivas.

De acordo com Rodrigues (2016) e a norma NBR 8800 (ABNT, 2008), os métodos dos estados limites devem ser utilizados em uma estrutura de modo que as combinações apropriadas de ações não

excedam a resistência das peças projetadas, pois, caso contrário, a estrutura perderá seu objetivo principal.

3.2.1 CARREGAMENTOS

Pinheiro (2005) define como ações, as cargas ou carregamentos atuantes nas estruturas, definidas pelas normas adequadas, ou as que são resultado das condições estruturais e/ou ambientais, sendo:

- Permanentes: aquelas que se mantêm com valor constante por toda vida útil da estrutura ou longos períodos, como o peso próprio da estrutura, revestimentos, pisos, acabamentos, etc.;
- Variáveis: aquelas de curta duração, que podem vir a ocorrer uma única vez ou variadas vezes, podendo até ser de maneira sequencial, como as sobrecargas de ocupação da edificação (determinadas na NBR 6120 da ABNT), mobília, divisórias, vento em coberturas, variação de temperatura, etc.;
- Excepcionais: todas que ocorrem de maneira variável, porém, em períodos muito curtos e de maneira extremamente rara, apesar da necessidade de serem consideradas, como as explosões, choque de veículos, abalos sísmicos, tsunamis, etc..

Para a análise dos estados limites últimos devem-se atender as seguintes condições: $S_d \leq R_d$, sendo **S_d** a representação dos valores de cálculo dos esforços atuantes, e **R_d**, os valores de cálculo correspondentes aos esforços resistentes. A NBR8800 (ABNT, 2008) define que a combinação de esforços solicitantes normais ou especiais na estrutura (**S_d**) pode ser obtida pela seguinte expressão:

$$S_d = \sum_{i=1}^n (\gamma_{gi} G_i) + \gamma_{q1} Q_1 + \sum_{i=2}^n (\gamma_{qi} \psi_{0i} Q_i)$$

Quando houver carga excepcional, deve ser utilizada:

$$S_d = \sum \gamma_g G + E + \sum (\gamma_q \psi Q)$$

Segundo Rothier (2017), *G* indica esforços oriundos de ações permanentes, *Q₁* e *Q_j* como esforços oriundos de ação variável predominante e demais esforços de ações variáveis, respectivamente e *E* se refere às excepcionais. Os coeficientes de ponderação das ações permanentes e variáveis são, respectivamente, γ_g e γ_{q1} . Os valores a serem inseridos para esses coeficientes são encontrados diretamente no NBR8800, de acordo com o tipo de carregamento e a situação a ser analisada (normal, de construção ou excepcional). O método dos estados limites também leva em consideração a baixa

probabilidades de como ações variáveis acontecerem simultaneamente, por isso usa-se o fator de combinação ψ_0j para reduzir o valor da carga não predominante em cada combinação, o que torna a análise mais precisa. Seus valores são também definidos na NBR8800 (ABNT, 2008), utilizando as tabelas 1a, 1b e 2, que apresentam os valores dos coeficientes de ponderação das ações.

Tabela 1a – Coeficientes de ponderação para ações permanentes		
Combinações	Grande variabilidade $\gamma_g(A)$	Pequena variabilidade $\gamma_g(A/B)$
Normais	1,4 (0,9)	1,3 (1,0)
Durante a construção	1,3 (0,9)	1,2 (1,0)
Excepcionais	1,2 (0,9)	1,1 (1,0)

Fonte: ESTRUTURAS METÁLICAS – cálculos, detalhes, exercícios e projeto – 2ª edição, pág. 33

Tabela 1b – Coeficientes de ponderação para ações variáveis				
Combinações	Recalques diferenciais γ_q	Variações de temperatura $\gamma_q (C)$	Ações de uso $\gamma_q(D)$	Demais ações variáveis γ_q
Normais	1,2	1,2	1,5	1,4
Durante a construção	1,2	1,0	1,3	1,2
Excepcionais	0	0	1,1	1,0

Fonte: ESTRUTURAS METÁLICAS – cálculos, detalhes, exercícios e projeto – 2ª edição, pág. 33

Pinheiro (2005), descreve as tabelas acima da seguinte forma:

A. Os valores entre parênteses, correspondem aos coeficientes para ações permanentes favoráveis à segurança; ações variáveis e excepcionais favoráveis à segurança não entram nas combinações.

B. São consideradas cargas permanentes de pequena variabilidade os pesos próprios de elementos metálicos e pré-fabricados, com controle rigoroso de peso. Excluem-se os revestimentos destes elementos feitos “in loco”.

C. A variação de temperatura citada não inclui a gerada por equipamentos (esta deve ser considerada como ação decorrente de uso da edificação).

D. Ações decorrentes do uso das edificações incluem sobrecargas em pisos e em coberturas, cargas de pontes rolantes, cargas de outros equipamentos etc.

Tabela 2 – Fatores de combinação

Ações	Ψ
Sobrecargas em pisos de bibliotecas, arquivos, oficinas e garagens; conteúdo de silos e reservatórios.	0,75
Cargas de equipamentos, incluindo pontes rolantes, e sobrecargas em pisos diferentes dos anteriores.	0,65
Pressão dinâmica do vento.	0,60
Variação de temperatura	0,60

Fonte: ESTRUTURAS METÁLICAS – cálculos, detalhes, exercícios e projeto – 2ª edição, pág. 33

Para Pinheiro (2005), o fator de combinação Ψ serve para reduzir os valores das cargas variáveis não predominantes nas combinações, esse coeficiente deve ser igual a 1 para as ações variáveis citadas e não citadas na tabela acima, quando forem de mesma natureza. Visto que o método dos estados limites possuem pouca probabilidade de as ações variáveis ocorrerem ao mesmo tempo, tornando assim a análise mais precisa.

3.3 BARRAS COMPRIMIDAS E TRACIONADAS

De acordo com Pfeil (2009) o pilar vertical é uma peça que quando se submete um material a um conjunto de forças pode sofrer com tensões de flexão, flambagem, cisalhamento e/ou torsão. Ainda que a engenharia se distingue entre o esforço de tração axial e as tensões de compressão de forma centrada axialmente, são encontradas em componentes de treliças, sistemas de travejamentos em pilares de sistema contra ventados. Para Pfeil (2009) as barras tracionadas são ultrapassagens axiais ou tração simples, usados de várias maneiras, de acordo com a figura 4. Em sua distribuição de tensões normais à seção transversal em peças com furos, a maior tensão será gerada próximo aos furos, e, devido à ductilidade do aço, nas regiões onde a peça está íntegra, a tensão trabalha uniformemente em toda a peça, como se vê na figura 5. Nos seus estados limites últimos e esforços normais, a resistência das peças submetidas a tração axial pode ser determinada pelos seguintes métodos:

a) Ruptura da seção com furos;

b) Escoamento generalizado da barra ao longo de seu comprimento, resultando em deformações excessivas.

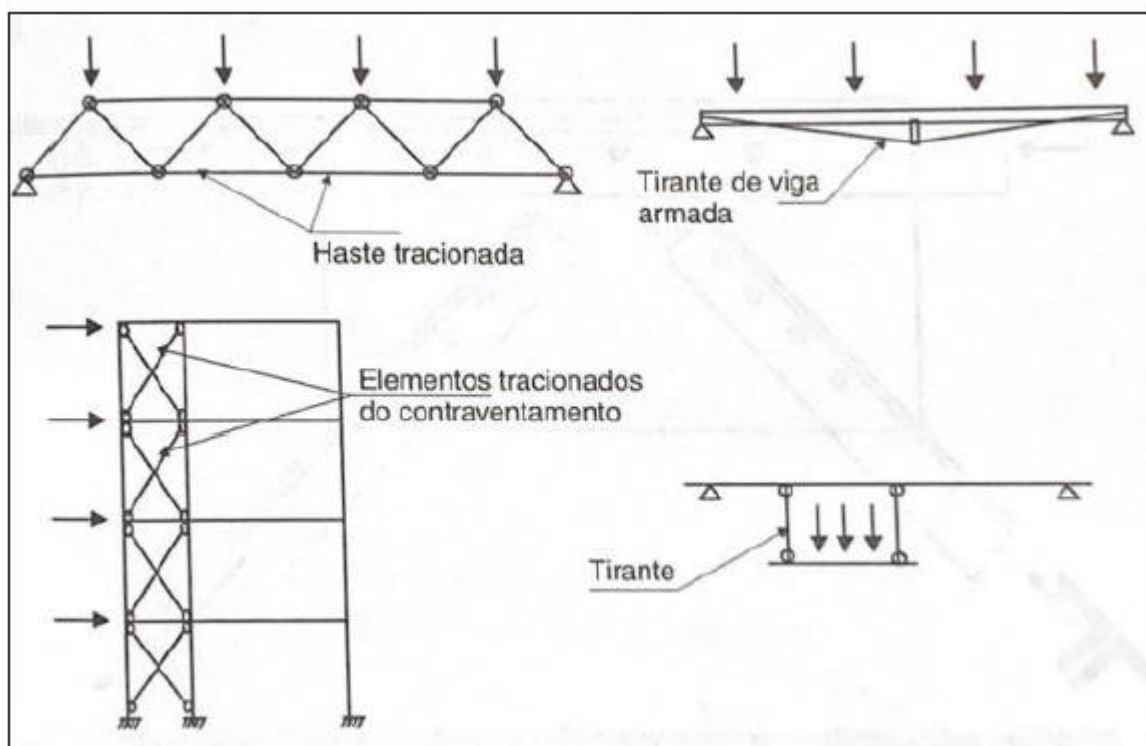


Figura 4 - Elementos tracionados em estruturas.

Fonte: Estruturas de Aço (Pfeil 2009)

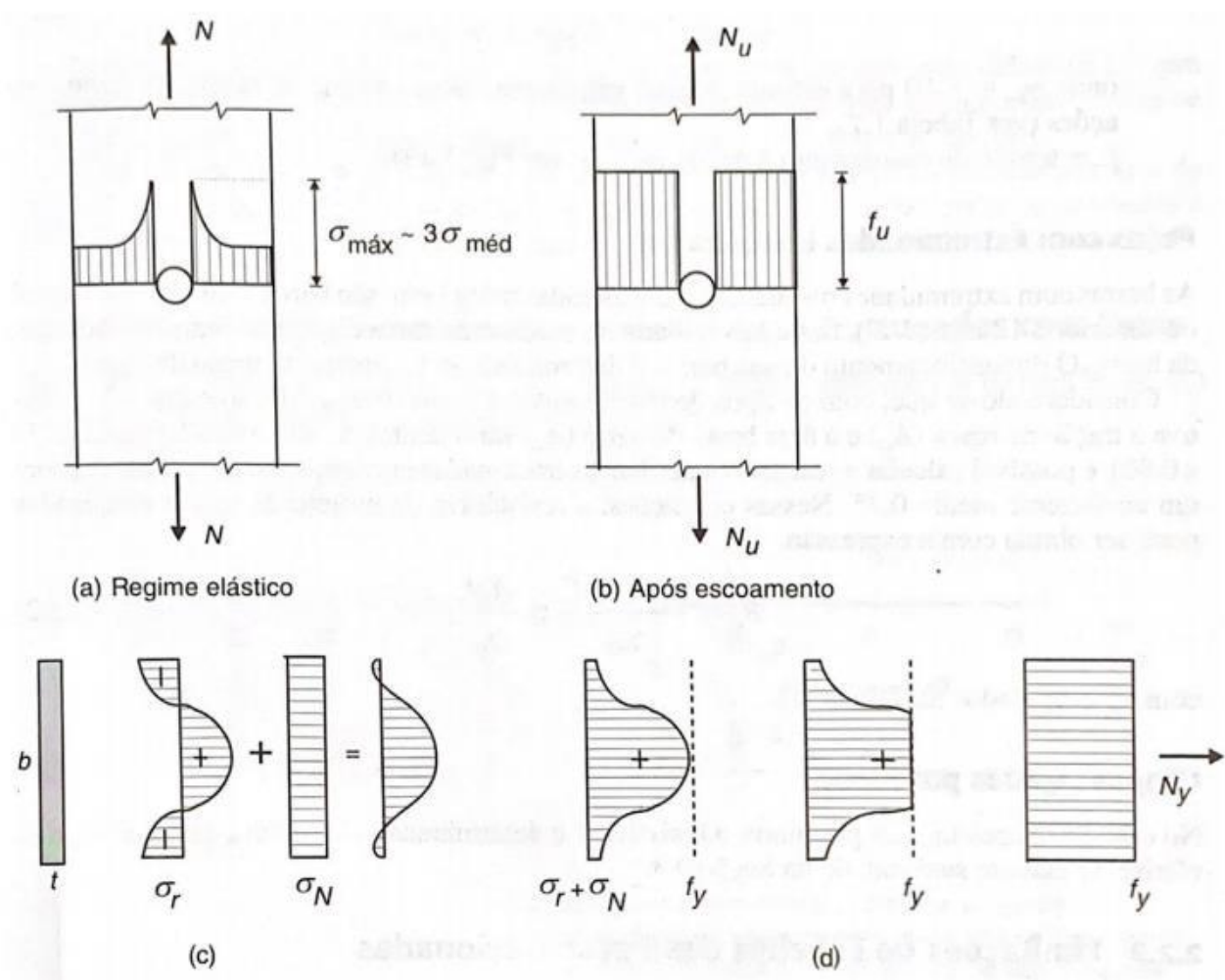


Figura 5 - Tensões normais de tração axial. (a) e (b) em uma peça tracionada com furo; (c) e (d) adicionadas as tensões residuais.

Fonte: Estruturas de Aço (Pfeil 2009)

O deslocamento lateral que sofrem as barras comprimidas constitui um processo denominado flambagem, causado pelos efeitos da compressão, que pode ser associado a eventuais flexões causadas por cargas horizontais ou efeitos de 2ª ordem, derivados das cargas verticais atuantes sobre as barras de travamento. As peças comprimidas e tracionadas podem ser feitas de peças simples ou sessões múltiplas. (Pfeil, 2009)

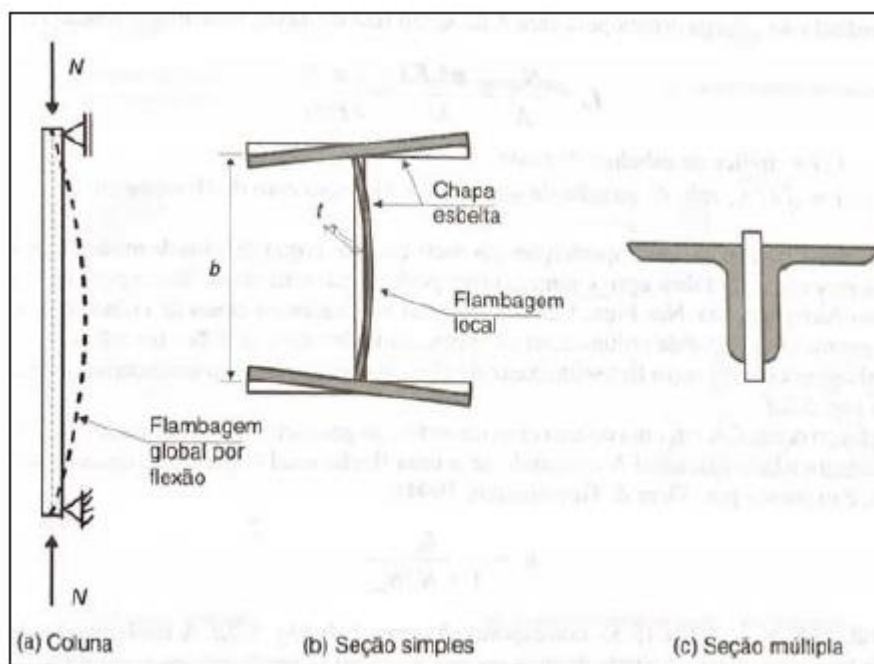


Figura 6 - Colunas de seção simples e de seção múltipla.

Fonte: Estruturas de Aço (Pfeil 2009)

O dimensionamento de hastes sujeitas a esforços axiais, de tração ou compressão, se faz utilizando-se a tensão normal média que é obtida dividindo-se o esforço normal pela área da seção reta da haste. Os esforços de tração tendem a retificar as hastes, reduzindo o efeito de curvaturas iniciais por acaso existentes. Os esforços de compressão tendem a aumentar os efeitos de curvaturas iniciais que, a ultrapassar um certo valor, provocam deslocamentos laterais visíveis; diz-se então que a haste ou barras apresentam flambagem, que é a instabilidade gerada por esforços de compressão. (Pfeil, 2009)

Segundo Pfeil (1988) é possível verificar que quando a carga solicitante se aproxima da carga crítica (N_{cr} – limite em relação à flambagem) a flecha tende ao infinito, o que significa o colapso da peça. A carga crítica é também conhecida como carga de Euler (NE), em homenagem ao matemático suíço Leonhard Euler (1707-1783).

3.4 TIPOS DE LIGAÇÕES

A estrutura metálica, a ser analisada como única, é formada pela combinação das peças ligadas em si. A seção transversal dessas peças é limitada pela capacidade do laminado e o comprimento é limitado pelos meios de transporte disponíveis. A conexão das peças é feita por conectores ou soldagem, cuja função é transferir a força de uma parte para outra. A escolha do tipo de ligação a ser utilizado depende do projeto estrutural proposto e do sistema de estabilização vertical: pórtico, cinta, parede

de cisalhamento ou núcleo de concreto. CASTRO, (1999); PFEIL & PFEIL, (2009); PEIXOTO, (2012); (apud ESSI, 2018)

Os elementos de ligação são componentes que facilitam ou que permitem a transmissão dos esforços gerados na estrutura, entre estes elementos tem-se os enrijecedores, as placas bases, as cantoneiras de assento, as chapas de nó (ou chapas de Gusset), as cobrejuntas de alma e de mesa, entre outros. [...]

Os dispositivos de ligação são componentes que proporcionam a união entre os elementos de ligação e as partes da estrutura que deseja conectar, entre estes componentes tem-se as soldas e os conectores (conectores são divididos em parafuso comuns ou parafuso de alta resistência, rebites e barras rosqueadas). (VALENCIANI, 1997)

3.4.1 LIGAÇÕES PARAFUSADAS

Segundo Pinheiro (2005) os principais tipos de parafusos utilizados em estruturas metálicas são classificados em parafusos comuns ou parafuso de alta resistência. A figura 7 apresenta exemplos dos parafusos utilizados em estruturas metálicas.

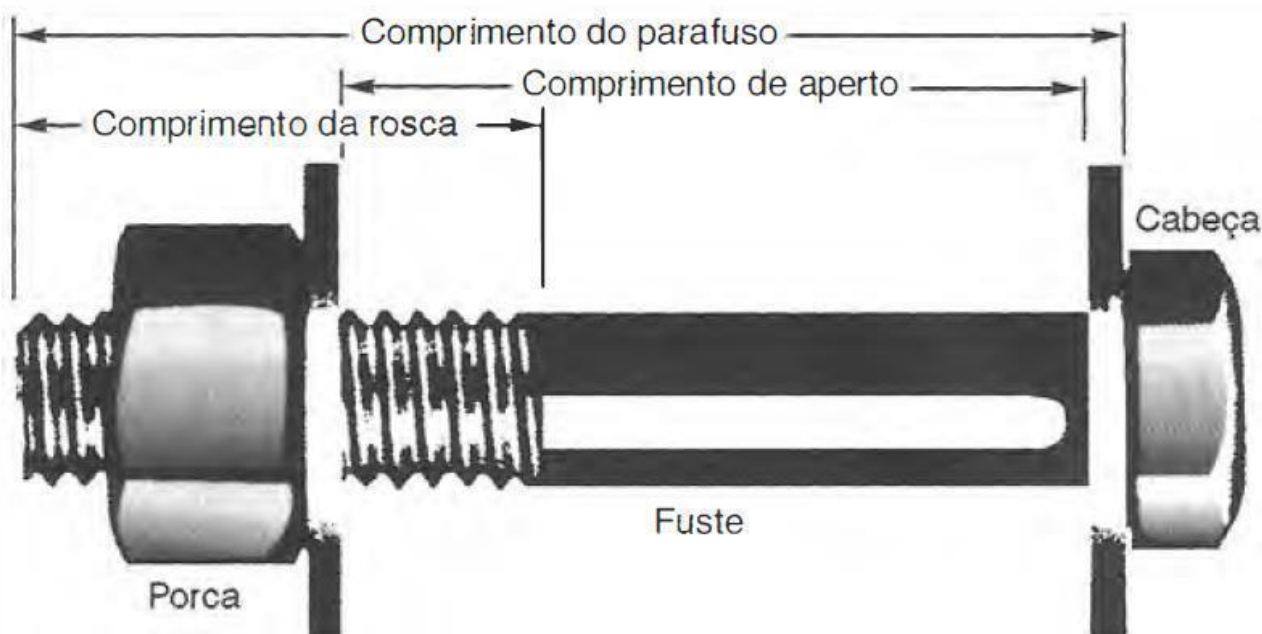


Figura 7 – Detalhamento do parafuso

Fonte: Estrutura de aço (Pfeil 2009)

Segundo Pinheiro (2005), os parafusos comuns são constituídos de aço-carbono e designados como ASTM A307, tem baixo custo, baixa resistência, e são utilizados para ligações de pequenas treliças, plataformas simples, passadiços, terças, vigas de tapamentos e estruturas leves. E segundo Pfeil (2009)

em uma das extremidades possui uma cabeça quadrada ou sextavada, enquanto na outra possui uma rosca com porcas, como exemplificado na figura 7.

Os parafusos de alta resistência, podem ser classificados em 3 tipos: (PINHEIRO, 2005)

- Por atrito (F – Friction): neste parafuso há um efeito de protensão, medido pelo torque dado na porca, que permite maior resistência ao deslizamento para as chapas. Recebe as designações A325-F e A490-F. A figura 8 traz uma explicação das ações aplicadas no parafuso por atrito.

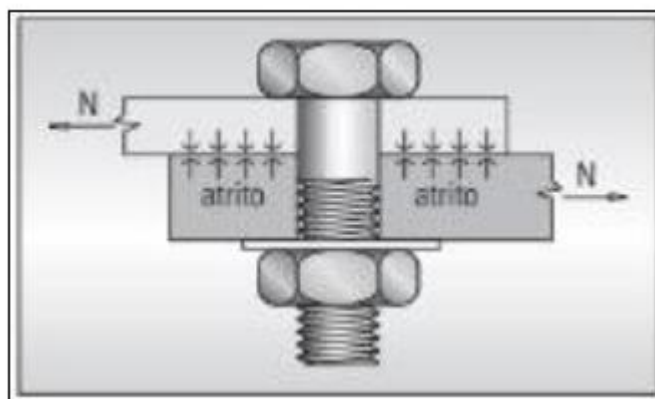


Figura 8 - Ações aplicadas no parafuso por atrito.

Fonte: Estruturas metálicas (Pinheiro 2005)

- Por contato (N – Normal): este parafuso tem sua região de rosca no plano de cisalhamento, tendo uma resistência menor devido a área da seção transversal na região da rosca, ser menor que a área do corpo, quando comparado com outros parafusos. É designado como A325-N e A490-N. A figura 9 apresenta as ações aplicadas para esse parafuso.

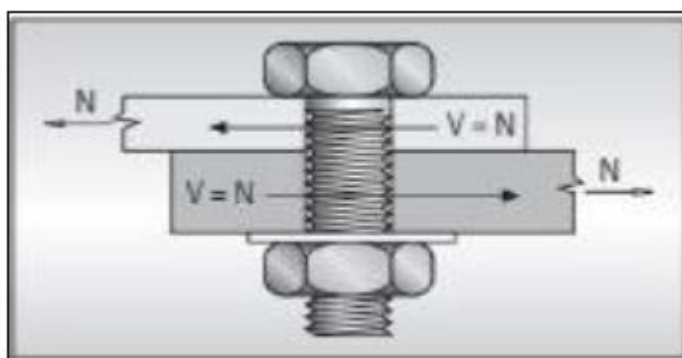


Figura 9 - Ações aplicadas no parafuso por contato

Fonte: Estruturas metálicas (Pinheiro 2005)

- Parafuso (X – excluded): tem a região da rosca fora do plano de cisalhamento, e recebe as designações de A325-X e A490-X. A figura 10 apresenta a aplicação das forças.

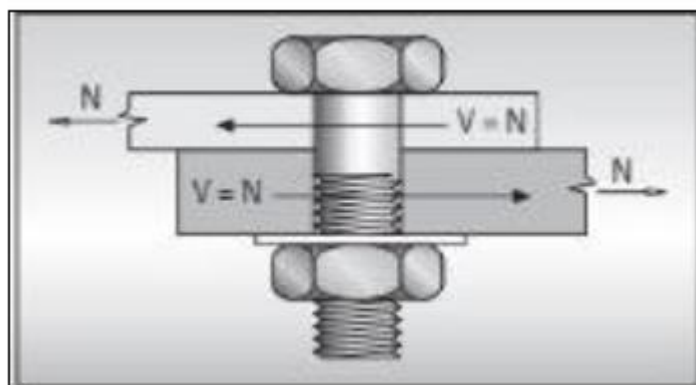


Figura 10 - Ações aplicadas no parafuso tipo X

Fonte: Estruturas metálicas (Pinheiro 2005)

As ligações parafusadas são classificadas conforme o tipo de esforço atuante nos parafusos (tração e esforço cortante), e a maneira que os esforços atuam nos parafusos muda conforme é utilizada.

3.4.2 LIGAÇÕES SOLDADAS

As ligações soldadas têm a finalidade de unir materiais geometricamente complexos mantendo a continuidade dos elementos, são ligações leves.

PFEIL e PFEIL (2009) define as ligações por solda como o processo de fundição das partes em contato, de modo a realizar a sua união, conforme o exemplo presente na figura 11.



Figura 11 – Exemplo de solda

Fonte: Full Estruturas (2016 apud ESSI, 2018)

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008) os processos de solda e as técnicas de execução de estruturas soldadas devem atender às especificações da norma AWS D1.1 – *Structural Welding Code da American Welding Society*.

De acordo com GAYLORD et al. p. 27 (Valenciani 1997), a soldagem é considerada um processo que uni as peças de metal por calor e pressão, o que pode levar à fusão das partes (soldagem por resistência), ou aquecer o metal até a temperatura de fusão, com ou sem adição de metal (soldagem por fusão). A soldagem por fusão geralmente usa arco elétrico com uma chama de oxiacetileno é usada para aquecer o metal. O arco elétrico é usado na maioria dos processos de soldagem.

Quites e Dutra definem o arco elétrico da seguinte forma:

O arco elétrico é a passagem de corrente elétrica através de um gás. Porém todo gás é isolante elétrico quando submetido a campos elétricos de intensidades normais. Para exemplificar, o ar situado entre dois eletrodos afastados de 1 mm, necessita de uma diferença de potencial de 4.000 volts para tornar-se condutor. Um gás torna-se condutor quando passa a possuir íons e elétrons livres, ou seja, se ioniza, e seu comportamento muda totalmente de modo a receber a denominação de plasma, também chamado de quarto estado da matéria. (apud Valenciani, 1997)

Segundo Valenciani (1997), o processo mais fácil para obter um arco elétrico, consiste no aquecimento do gás entre o eletrodo e o substrato para resistir bombardeio de elétrons. Para obter isso, há a necessidade que tenha diferença de potencial entre a peça e o eletrodo (tensão vazia). Quando o eletrodo é tocado no componente, a tensão cai rapidamente e não atinge o valor zero devido à resistência de contato, com isso a corrente aumenta para um valor perto da corrente de curto-circuito. Portanto, através do efeito Joule, ocorre o aquecimento da região presente no contato, levando-a à incandescência. Desta forma, devido ao número de calor liberado, facilmente separa o elétron do átomo do ambiente gasoso, isso é devido à emissão termiônica na zona incandescente, portanto, o gás é ionizado. Através da ionização o eletrodo pode se afastar do material de base, permanecendo o arco elétrico. A seguir serão apresentando alguns tipos de solda feita através do arco elétrico.

3.4.2.1 SOLDA COM ELETRODO REVESTIDO;

De acordo com Wainer et al. p. 72 (apud Valenciani, 1997), o processo teve início no começo do século, fios desencapados que eram usados em cercas são conectados à rede elétrica. A cobertura de ferrugem ou cal fornece melhor estabilidade do arco, no início da primeira década, era utilizada tinta ácida. Ao cobrir o fio de solda com amianto (pó de silicato), a poça de fusão pode ser protegida, enquanto o uso do algodão aumenta a penetração do arco, dando o revestimento de celulose. Em

meados da década de 1930, teve a utilização de tinta bronzeada. No início dos anos 1940, os revestimentos básicos foram desenvolvidos, e em meados da década de 1950, o pó de ferro foi adicionado. No Brasil o processo é o método mais comumente usado em uma ampla gama de aplicações.

De acordo com Quites e Dutra. p.57 (apud Valenciani, 1997), na soldagem com eletrodos nus, após derreter no ar, o eletrodo perderá muito carbono, manganês e silício, devido à oxidação, enquanto o nitrogênio se formou no ar nitritos. Esses nitritos estão confinados reduzindo sua resistência e ductilidade. Para evitar esta situação, é necessário formar à atmosfera de gás gerada ao redor do arco, neste caso, é por combustão, e o revestimento é embutido no eletrodo.

Figura 12– Solda com Eletrodo Revestido



Figura 12– Solda com Eletrodo Revestido

Fonte: Valenciani (1997)

3.4.2.2 SOLDA POR ARCO SUBMERSO

De acordo com Wainer et al. p.72 (apud Valenciani, 1997), este processo começou em 1935, sendo usado para fazer tubos e navios. Seu uso foi fortalecido durante a Segunda Guerra Mundial. No Brasil, este tipo de soldagem é amplamente utilizado para fabricação de tubos, navios, perfis, plataformas offshore, trocadores de calor e equipamentos pesados.

De acordo com GAYLORD et al. p. 27 (apud Valenciani, 1997), neste processo, o fio do eletrodo é alimentado mecanicamente da bobina para a pistola de soldagem, e a velocidade mantém um comprimento de arco constante, além disso, o arco está completamente imerso no fluxo granular,

onde a alta corrente pode ser usada sem gotas de suspensão no ar ou respingo. Este fluxo granular é um material fusível que é alimentado na área de trabalho por gravidade, o suficiente para submergir o arco completo. Alguns materiais granulares se fundem para formar um o revestimento na solda, além de protegê-la da atmosfera, também auxiliam no controle da Taxa de refrigeração. Figura 13 mostra a representação de um único fio de arame imersa no arco durante o processo.

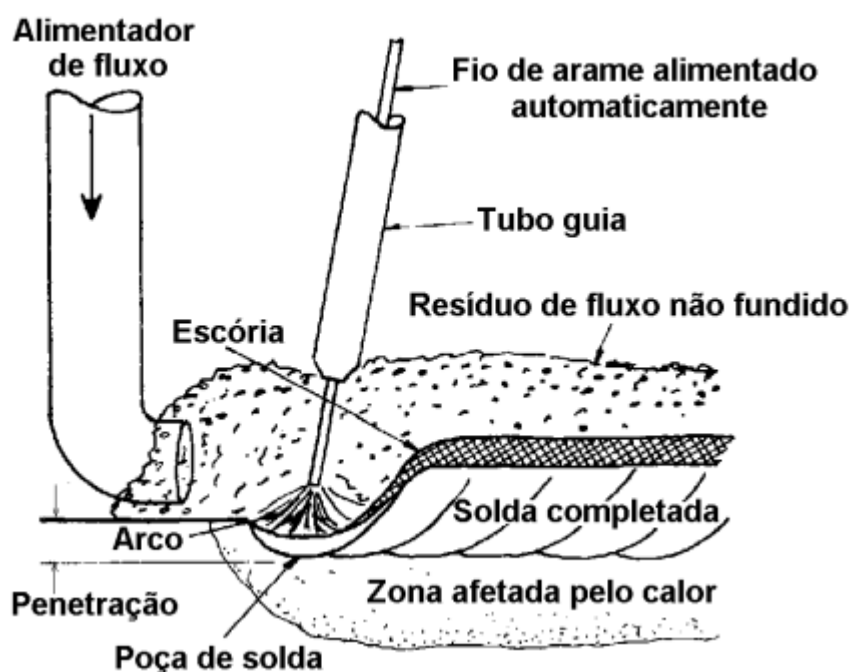


Figura 13 – Solda por arco submerso

Fonte: Valenciani (1997)

3.4.2.3 SOLDA COM PROTEÇÃO GASOSA

De acordo com Waner et al. p.72 (apud Valenciani, 1997), o processo começou no início dos anos 30. Magnésio e suas ligas e outros metais que posteriormente utilizam gases inertes, posteriormente, o dióxido de carbono foi introduzido. Este tipo de soldagem também é chamado de soldagem a gás ativa (MAG), adequado para soldar aço de baixo carbono e aço de baixa liga ou soldagem de gás inerte (MIG), adequada para soldar aço carbono, aço ligas baixas, médias e altas, aço inoxidável, alumínio, magnésio, cobre e suas ligas. Este termo se aplica apenas a gases de soldagem, a proteção é argônio ou hélio.

De acordo com OWENS & CHEAL p.50 (apud Valenciani, 1997), neste processo, eletrodos desencapados, arcos e a piscina de soldagem só podem ser protegida da atmosfera por um gás de proteção, como na Figura 14. Geralmente não há fluxo, nenhuma formação de escória, o que é comum

em outros processos. A mangueira flexível fornece a tocha de soldagem, enquanto o fio de eletrodo, o gás de proteção e corrente, são todos controlados automaticamente.

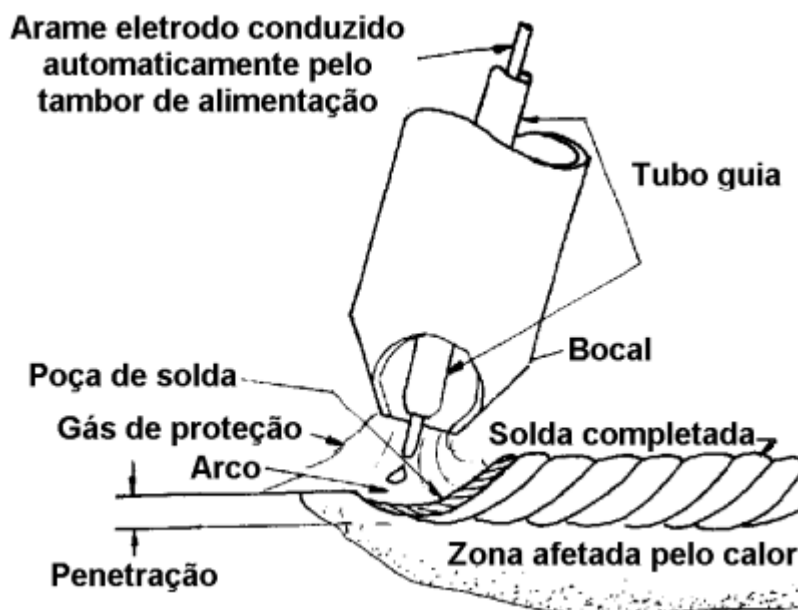


Figura 14 – Solda com proteção gasosa

Fonte: Valenciani (1997)

3.4.2.4 SOLDA COM ARAME TUBULAR

Segundo Valenciani (1997), a soldagem com arame tubular é semelhante a (MIG / MAG), mas utiliza uma escória protetora, neste processo, de acordo com QUITES & DUTRA p. 57 (apud Valenciani, 1997), o arco é protegido pela queima da corrente de pó contida no arame tubular. Outra forma de proteger o fluxo de ar é cercar o arco com fluxo de ar adicional, por protetor externo que flui do mesmo bico onde surge o eletrodo. Ambos os métodos usam material do núcleo do eletrodo, que contém ingredientes capazes de gerar gases e vapores que protegem o arco do ar, produzindo uma escória com revestimento mais fino para proteger o metal de solda. Esta escória também ajuda a desoxidar materiais de base e metais de solda, além da introdução de elementos de liga, necessários para corrigirem a composição química. De acordo com GAYLORD et al. p. 27 (apud Valenciani, 1997), soldagem com arame tubular é geralmente um processo semiautomático, onde o canhão que controla a velocidade de alimentação é mantido e manuseado por soldadores. Este processo também pode ser usado em máquina de solda, durante este processo, o operador pode monitorar o arco mecanizado.

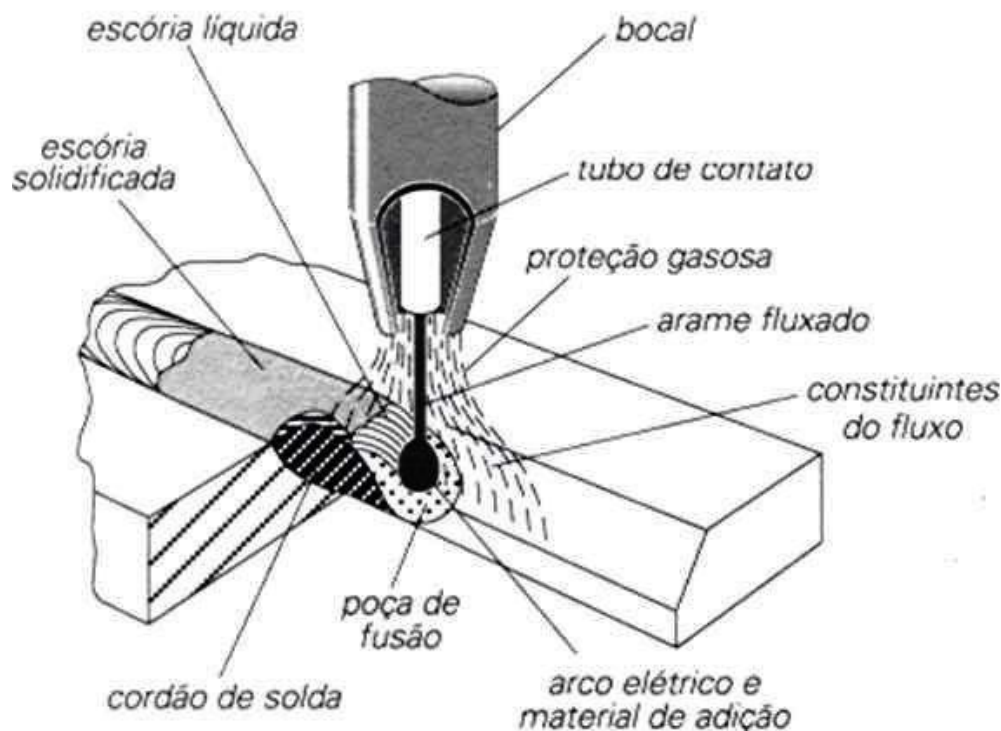


Figura 15– Solda com arame tubular

Fonte: Valenciani (1997)

3.5 PATOLOGIAS

Patologia é um termo que deriva do grego (pathos – doença, e logia – estudo), que pode ser traduzido como estudo da doença. Que segundo Vitório (2003), pode ser comparar o corpo com uma edificação, tem-se o esqueleto com a estrutura, os músculos com a vedação, a pele com o acabamento, sistema circulatório como as instalações hidráulicas, e, portanto, pode-se dizer que patologia é o estudo da ocorrência de avarias em edificações, que adoecem devido a causas internas ou externas ou a um comportamento natural.

As patologias podem se manifestar de várias formas e são relacionadas à utilização das estruturas metálicas, à corrosão, sobrecargas excessivas, erro de projeto e falta de manutenção são as mais frequentes em torres de telecomunicação.

Estudos mostram que um elevado percentual dos problemas patológicos nas edificações é originado nas fases de planejamento e projeto. Essas falhas são geralmente mais graves que as relacionadas à qualidade dos materiais e aos métodos construtivos. Isso se explica pela falta de investimento dos proprietários, sejam eles públicos ou privados, em projetos mais elaborados e, detalhados, fazendo com que a busca pura e simples de projetos mais “baratos” implique muitas vezes na necessidade de adaptações durante a

fase de execução e futuramente em problemas de ordens funcional e estrutural. (VITÓRIO, 2003)

A seguir é apresentando a tabela 1 com o percentual de cada causa que originaliza as patologias nas edificações

Tabela 3 – Principais causas de patologias		%
Projeto		40
Execução		28
Materiais		18
Uso		10
Planejamento		4

Tabela 1 – Principais causas de patologias

Fonte: Sacchi e Souza (2016 apud Pravia & Betinelli, 2016)

Segundo Sacchi e Souza (2016 apud PRAIVA & BETINELLI, 2016), as patologias mais comuns em estruturas metálicas podem se manifestar por 6 tipos principais, conforme a tabela.

Quadro 1 - As principais manifestações patológicas e suas causas.	
Manifestações patológicas no aço	Principais causas
Corrosão localizada	Causada por deficiência de drenagem das águas pluviais e deficiências de detalhes construtivos, permitindo o acúmulo de umidade e de agentes agressivos.
Corrosão generalizada	Causada pela ausência de proteção contra o processo de corrosão.
Deformações excessivas	Causadas por sobrecargas ou efeitos térmicos não previstos no projeto original, ou ainda, deficiências na disposição de travejamentos.

Flambagem local ou global	Causadas pelo uso de modelos estruturais incorretos para verificação da estabilidade, ou deficiências no enrijecimento local de chapas, ou efeitos de imperfeições geométricas não consideradas no projeto e cálculo.
Fratura e propagação de fraturas	Falhas estas iniciadas por concentração de tensões, devido a detalhes de projeto inadequados, defeitos de solda, ou variações de tensão não previstas no projeto.

Quadro. Principais manifestações patológicas em estruturas metálicas.

Fonte: Sacchi e Souza (2016 apud Pravia & Betinelli, 2016)

Sacchi e Souza (2016) define os agentes agressivos que afetam o comportamento da estrutura durante sua vida útil das seguintes maneiras:

- ações ambientais, como elevada umidade, respingos de marés, etc.;
- agentes externos agressivos: águas contaminadas, terrenos com solo contaminado, gases nocivos, produtos químicos, etc.;
- causas naturais ligadas ao envelhecimento dos materiais componentes das estruturas (por exemplo, corrosão)

Sacchi e Souza (2016) define corrosão, como podemos ver na figura 16:

A corrosão é um tipo de deterioração que pode ser facilmente encontrada em obras metálicas e se caracteriza como um fenômeno patológico de maior conhecimento público. O aço oxida quando em contato com gases nocivos ou umidade, necessitando por isso de cuidados para prolongar sua durabilidade.



Figura 16 - Corrosão localizada.

Fonte: InduFix (2017)

3.5.1 EFEITOS DA CORROSÃO

Segundo Dean (1993 apud Dal'Bó e Sartorti 2012), o uso de aço estrutural em edifícios civis requer atenção especial, pois em termos de projeto, na seleção de materiais e proteção, mais cedo ou mais tarde poderá ocorrer sérios problemas de corrosão. Segundo Gentil (1996 apud Dal'Bó e Sartorti 2012), a corrosão é um processo heterogêneo ou eletroquímico de reação química que passa na superfície de separação entre o metal e o meio corrosivo, portanto, é uma forma de destruir o metal e se espalhar por sua superfície. Segundo Gentil (1996 apud Dal'Bó e Sartorti 2012), as diferentes formas de corrosão e suas características são descritas a seguir:

- Uniformidade: Em todo o processo de sua superfície, a perda de espessura é chamada de corrosão geral;
- Backing board: Localizado em uma parte da superfície metálica, formando uma placa e uma fossa de fundação;
- Alvéolos: sulco ou escavação;
- Afiado ou pontiagudo por pequenas cavidades: São cavidades, o ângulo e a profundidade do fundo são maiores que o diâmetro.
- Intracristalino: ocorre nos grãos cristalinos da rede cristalina do metal, podendo quebrar ao perder suas propriedades mecânicas;

- Filamento: Espalha-se em diferentes direções em forma de filamentos, aparece na superfície pintada e retira o revestimento;
- Spalling: ocorre em chapas ou peças extrudadas, de forma que o material se desintegra na forma de placas paralelas;
- Bolhas de hidrogênio: o hidrogênio penetra no material metálico e difunde rapidamente nas áreas de descontinuidade, criando pressão e bolhas;
- Ao redor do cordão de solda: é visível ao redor do cordão de solda.

Segundo Sacchi e Souza (2016), o projeto é o grande responsável pela vida útil da estrutura, e tem sua consolidação na execução, com isso os conceitos do projeto devem chegar à conclusão da execução, visando gerenciar o desempenho da estrutura ao longo do tempo, dentro do controle do processo de desgaste e possível ruptura, o que permite prevenir falhas.

A figura 17 apresenta situações de falhas de projeto, exemplificadas por Sacchi e Souza (2016), no qual definem os erros de projetos presentes na figura da seguinte forma:

- a) falha na compatibilidade entre projeto de estruturas metálicas e o de concreto armado;
- b) erro de compatibilidade de projetos – o alinhamento dos furos encontra as armaduras da estrutura de concreto armado;
- c) aberturas imprevistas;
- d) erro no gabarito de furação.

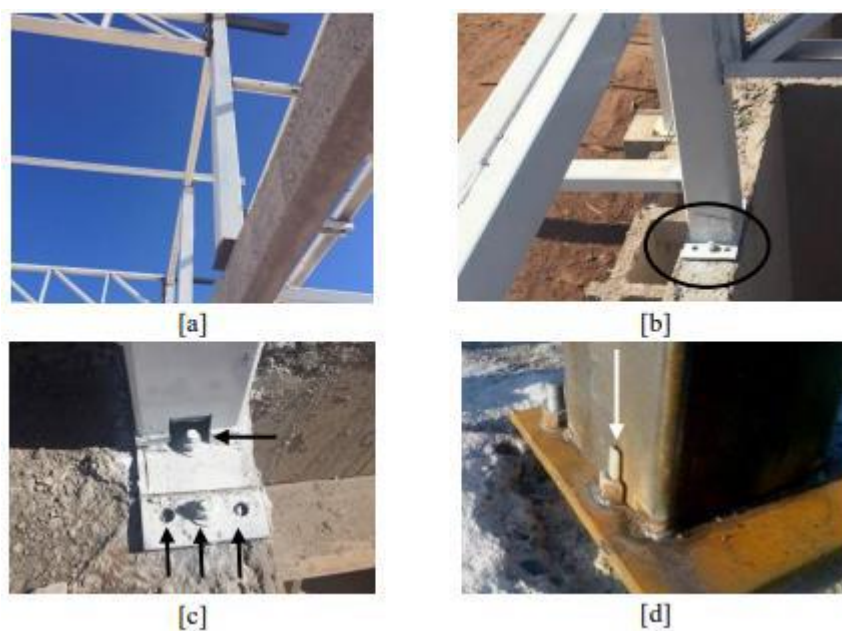


Figura 17 - Patologia por falha de projeto.

Fonte: Sacchi e Souza (2016)

3.5.2 DETALHAMENTOS INCOMPATÍVEIS

Na fase de projeto, detalhes consistentes evitam os defeitos mostrados na Figura 7 e evitam o controle de consistência na fábrica antes de construir os elementos e suas conexões. A falha na Figura 18 mostra:

- A combinação viga-pilar que não atende ao projeto;
- Postos-chaves no sistema estrutural.

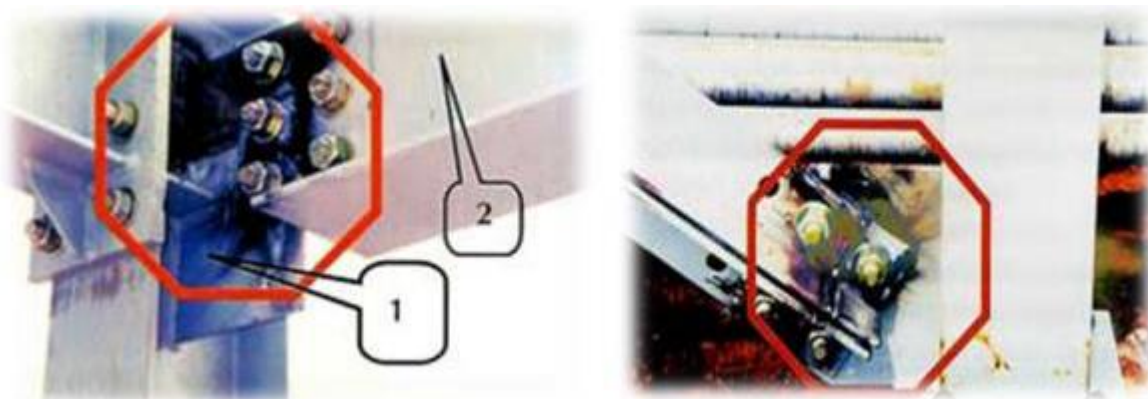


Figura 18 – Detalhamentos incompatíveis

Fonte: Pravia; Betinelli (1998 apud. Dal'Bó e Sartorti 2012)

As falhas de execução também podem estar relacionadas ao processo de fabricação ou de montagem. No processo de fabricação o controle de qualidade é maior, permitindo que o processo executivo atenda suas exigências, assim, é de extrema importância que o fabricante mantenha sempre o controle de material e de processo, para que não venha apresentar falhas durante o processo de montagem.

Sacchi e Souza (2016), defini as falhas de fabricação da seguinte maneira:

O trabalho realizado dentro de uma fábrica de estruturas metálicas está sujeito a diversos métodos de inspeção. O fabricante deve estabelecer métodos de controle de qualidade, para garantir que todo o trabalho seja executado de acordo com as exigências. A inspeção é executada por funcionário qualificado e certificado para exercer a função e atuam em todas as fases do processo de fabricação. Na maioria das obras o cliente pode contratar inspetores para atuarem junto ao fabricante.

Segundo Sacchi e Souza (2016), as falhas de montagem surgem devido a particularidade de cada obra, como acessibilidade, topografia, disponibilidade do canteiro, tipos de estruturas, entre outras, fazendo que a montagem seja sujeita a desafios de acordo com cada empreendimento.

Segundo Dal'Bó e Sartorti (2012) as principais razões para a falha de estruturas metálicas podem ser mencionadas das seguintes formas:

- Projetar e especificar as falhas, que podem causar danos e deterioração estrutural, até que o alto risco de colapso estrutural em uso seja resolvido o mais rápido possível;
- Falhas no processo e detalhes construtivos, que podem variar desde a durabilidade da obra até o risco de danos durante a construção;
- A qualidade ou uso indevido dos materiais causará degradação precoce até que a vida útil da estrutura seja reduzida;
- A falha de manutenção ou falta de manutenção preventiva pode levar à degradação acelerada da estrutura, o que pode comprometer a sua segurança;
- O uso impróprio da estrutura causará danos e encurtará a vida útil, além de prejudicar a segurança da estrutura.

3.5.3 FALHA NO GABARITO DE FURAÇÃO

Os furos são feitos no perfil, é necessário padronizar o tamanho e espaçamento para permitir furos múltiplos na fábrica. O furo deve ter uma folga de 1,5 mm em relação ao diâmetro nominal do parafuso de montagem (ex. Pfeil e Pfeil, 2009 Dal’Bó e Sartorti 2012).

- Problemas de ajuste de perfuração;
- Erros de montagem estrutural;
- Furos imprevistos no projeto.

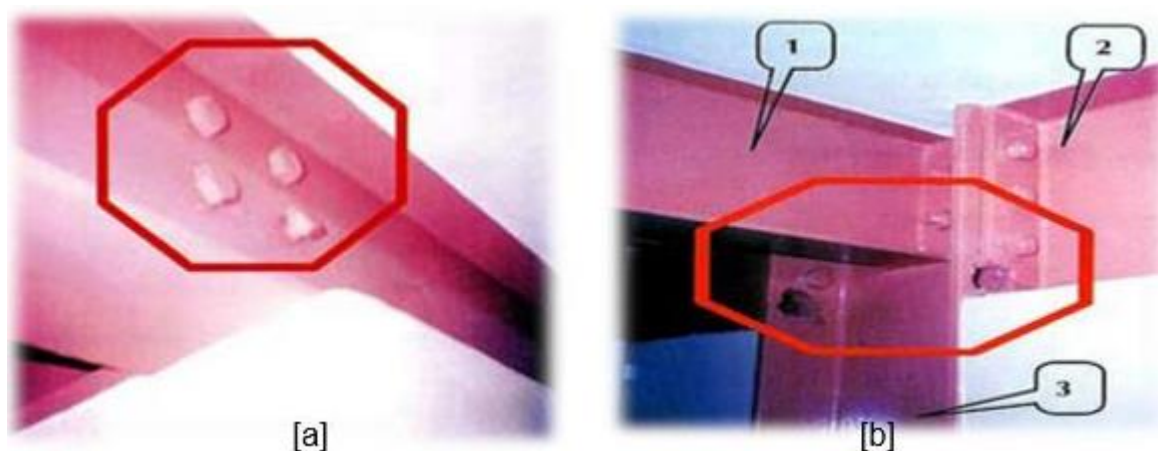


Figura 19 – [a] falha no gabarito de furação – [b] Furos não previstos no projeto

Fonte: Pravia; Betinelli (1998 apud. Dal’Bó e Sartorti 2012)

3.5.4 FALTA DE PARAFUSO NA CONEXÃO

O conector é uma ferramenta de conexão que pode funcionar através de orifícios na placa (como rebites, parafusos comuns e parafusos de alta resistência). Segundo (Pfeil e Pfeil, 2009 Dal’Bó e Sartorti 2012), ao suportar tensões, a tração é transferida entre as placas. A Figura 20 mostra as seguintes patologias:

- Não há parafusos em cada lado da conexão;
- Erros de design;
- O projeto carece de revisão

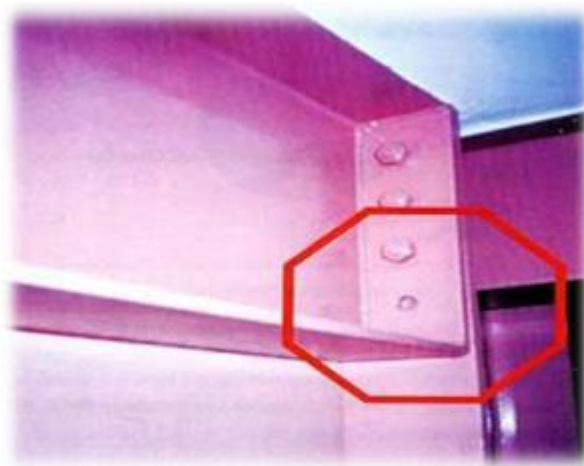


Figura 20 – Falta de parafuso na conexão

Fonte: Pravia; Betinelli (1998 apud. Dal’Bó e Sartorti 2012)

3.5.5 ANÁLISE DAS PATOLOGIAS

Falhas localizadas na estrutura metálica podem causar danos às peças ou colapso quando as peças atingem certos estados limites finais ou estados extremos de uso, resultando em vítimas ou perdas econômicas significativas. De acordo com Silva Junior (2006 apud Dal’Bó e Sartorti 2012), as patologias estruturais geralmente são divididas em três categorias:

- **Adquiridas** - são patologias estruturais causadas por atividades externas, como poluição atmosférica, umidade, gases ou líquidos corrosivos e vibração excessiva por uso indevido da estrutura. Esses efeitos podem criar problemas relacionados à falta de preparação preliminar da estrutura ou falta de manutenção;
- **Transmitido** - Hábito ou falta de conhecimento técnico do pessoal de fabricação ou montagem da estrutura. Transferência entre trabalhos, pois os soldadores não desejam remover a tinta das juntas de solda, e ignoram a carbonização da tinta que afetará a qualidade do serviço (SILVA NETO, 2006 apud Dal’Bó e Sartorti 2012);
- **Atávicas** - Devem-se a má concepção do projeto, erros de cálculo, seleção insuficiente da espessura dos perfis ou chapas, ou ainda mal condicionadas devido ao uso de aço com resistência diferente do projeto proposto. Eles não são fáceis de reparar e geralmente requerem reforços, acréscimos, suportes, etc..

4 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo inclui pesquisas aplicadas sobre características descritivas, cujo objetivo é compreender as principais manifestações patológicas presentes em estruturas metálicas, aplicando-se em torres de telecomunicação. A pesquisa consiste em entender os fenômenos resultantes, coletando informações providas de fontes externas, também, comparando-as com outros estudo e revisões bibliográficas e documentais, permitindo assim a imersão do tema proposto.

Os principais autores que contribuíram para esse trabalho foram Antonio Carlos da Fonseca Bragança Pinheiro, com o livro Estruturas Metálicas – Cálculos, Detalhes, Exercícios e Projetos, 2ª ed. Blucher (2005), Walter Pfeil e Michèle Pfeill, com o livro Estrutura de aço – Dimensionamento prático de acordo com a norma NBR 8800/ 2008, 8ª ed. LTC (2009) e Ricardo Gonçalves da Fonseca Rothier, com o trabalho acadêmico Análise e dimensionamento de uma torre de aço de telecomunicação, apresentado para Universidade Federal do Rio de Janeiro (2017).

O Estudo de campo será realizado em duas torres, a primeira localizada na Rua Luiz Rosseti, São Matheus – SP, e o segundo estudo localizada na rua Manoel José de Almeida, Vila Cruz das Almas - SP.

Através de uma investigação no local será conduzida análises de modo que possa encontrar situações patológicas com o auxílio de técnicos e engenheiros da área. Os documentos fotográficos indicam que se trata de uma torre metálica tipo poste e outra do tipo autoportante, para tanto, é necessário fazer as verificações das causas patológicas na torre que apresentou tais manifestações, relacionando-a com a outra torre que não constatou tais patologias, baseando-se nas pesquisas bibliográficas e no conhecimento prático de especialistas. Com ajuda de relatórios precisos e detalhados, obtidos em pesquisas de campo, associaremos estudos literários e artigos científicos para mostrar os temas que iremos destacar.

Definido os procedimentos descritos acima, focaremos nas patologias e suas principais causas, sendo elas corrosões, falta de manutenção e erro de projeto.

5 ESTUDO DE CASO

5.1 ESTUDO DE CASO 1

No presente estudo de caso, uma investigação no local foi conduzida para encontrar condições patológicas em uma torre metálica do tipo poste (PASL-C) com seção transversal octodecagonal através de documentos fotográficos colhidas “in loco”.

Segundo o procedimento da Telebrás (SDT-240-410-600, 1997) é classificado os postes PASL-C (Postes Auto Suportados Leves Celulares), aqueles que suportam antenas do Sistema Móvel Celular.

O poste autoportante possui 30 metros de altura, sendo o diâmetro da base de 800 milímetros, e 400 milímetros de diâmetro o topo. O mesmo é composto pelos seguintes materiais:

- Perfis Laminados: Aço ASTM A36
- Chapas: Aço ASTM A36
- Parafusos: ASTM A325
- Chumbadores: Aço SAE 1045

A figura 21 mostra a o poste utilizado para o presente estudo.



Figura 21 – Poste: Estudo de caso 1.

Fonte: Aatoria própria (2020)

O poste é composto por cinco trechos de 6 metros, sendo os trechos 1 e 2 de 800 milímetros de diâmetro, trecho 3 de 640 milímetros, trecho 4 de 480 milímetros, e o trecho 5 de 400 milímetros. Para melhor entendimento a figura 22 mostra um modelo computacional do poste, trazendo detalhamento de toda a estrutura.

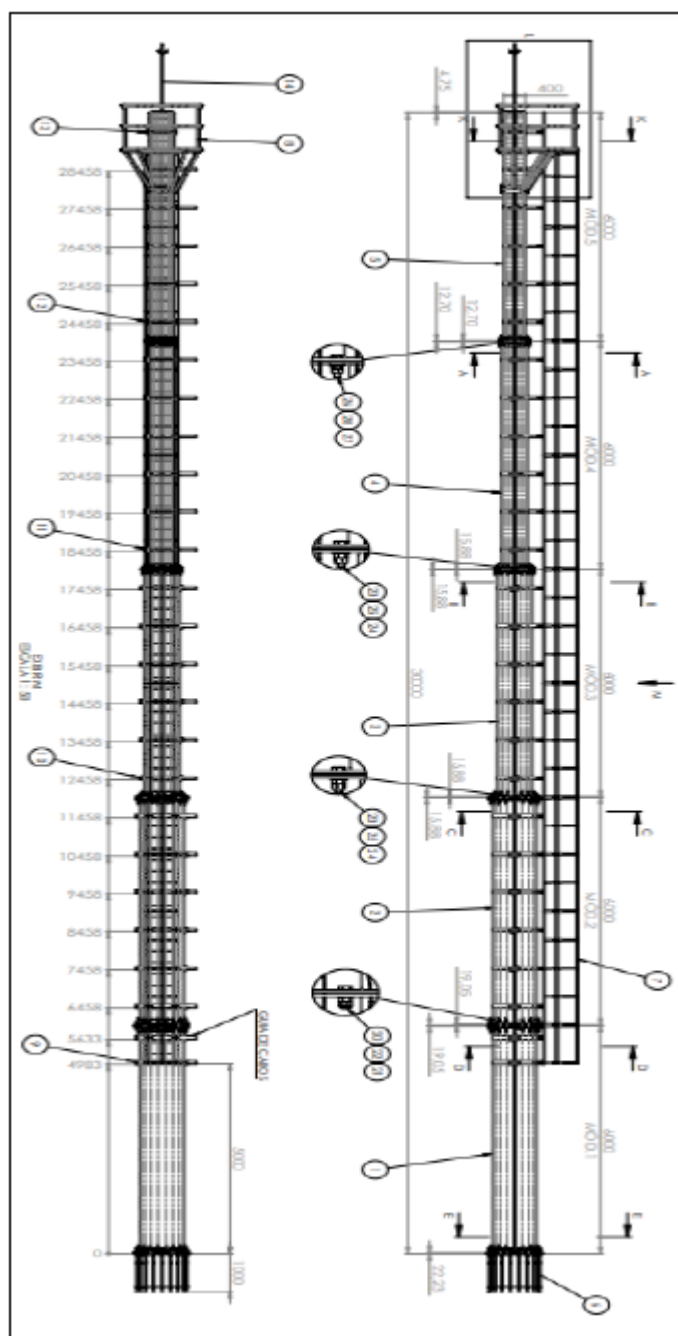


Figura 22 - Modelo computacional do poste.

Fonte: RQ Engenharia (2020)

A união dos trechos é feita através do elemento de ligação e por parafusos, conforme a figura 23.

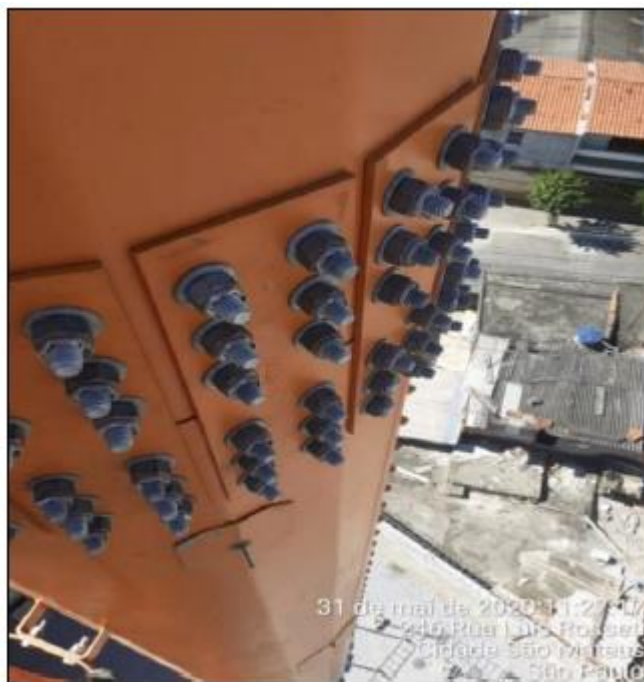


Figura 23 - Elemento de ligação dos trechos.

Fonte: Autoria própria (2020)

Durante a análise do presente estudo de caso não foi constatada nenhuma manifestação patológica, e meios que possam gerar essas manifestações.

5.3 ESTUDO DE CASO 2

Nesse estudo de caso, uma investigação no local foi conduzida para encontrar condições patológicas em uma torre metálica autoportante (TASL-C) com seção transversal triangular através de documentos fotográficos colhidas “in loco”.

Segundo o procedimento da Telebrás (SDT-24-410-600, 1997) são classificadas as torres autoportante TASL-C (Postes Auto Suportados Leves Celulares), aquelas que suportam antenas do Sistema Móvel Celular.

Localizada no bairro da Vila Cruz das Almas, em São Paulo, a torre possui 40 metros de altura, ocupando uma área de 22 m², sendo o perímetro da base de 12 metros, e o perímetro do topo de 5,3 metros. A figura 24 mostra a torre utilizada para o presente estudo de caso.

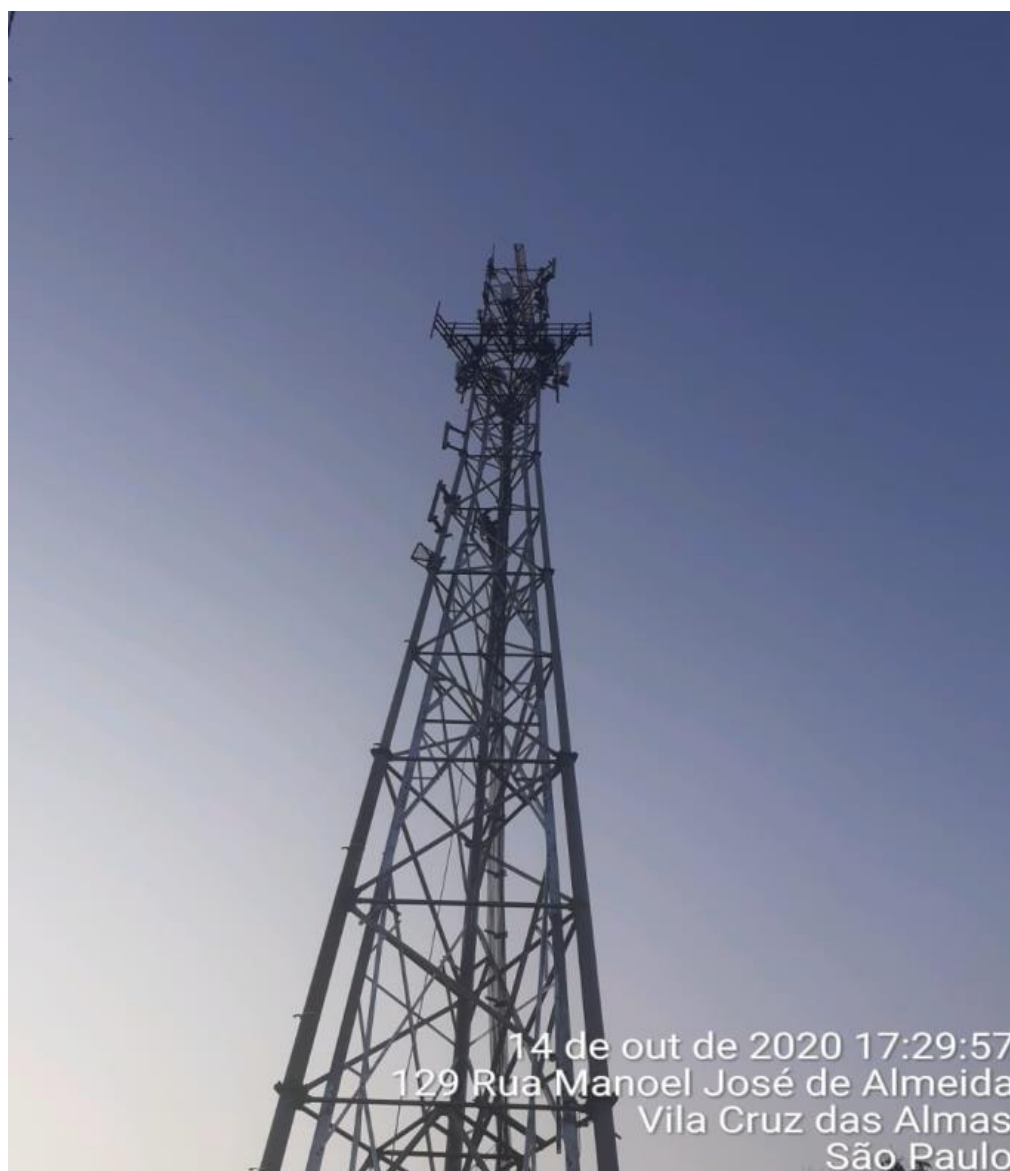


Figura 24 – Torre autoportante: Estudo de caso 2.

Fonte: Autoria própria (2020)

Ao realizar as vistorias para identificar as causas patológicas existentes, foi diagnosticado um alto nível de oxidação e corrosão em suas peças, e por se tratar de uma torre tubular, que segundo o responsável técnico (Engenheiro Calculista Arlon Rodrigues), é difícil analisar e realizar manutenção na parte interna da tubulação, tornando assim inviável a utilização desse sistema estrutural, devido à perda de seção causada pela oxidação e corrosão, no qual pode levar ao colapso de toda estrutura. O nível de corrosão é apresentado na figura 25.



Figura 25 – Torre autoportante: Estudo de caso2.

Fonte: Autoria própria (2020)

A corrosão, ocorreu devido as intempéries, visto que a torre já estava em funcionamento há muitos anos, a ausência de manutenções preventivas (a falta de pintura eletrostática) contribuiu para que a torre atingisse alto nível de corrosão e comprometimento estrutural.

Devido ao alto nível de corrosão presente na estrutura, técnicos e engenheiros viram a necessidade da desativação da mesma. Porém, por não poder desativar o site em funcionamento, foi realizado a construção de uma torre interna antes da desativação, para isso tiveram que fazer uma fundação interna, reforço dos blocos de fundação e coroamento, e a partir daí começarão as montagens dessa nova torre.

6 DISCUSSÃO

O tema abordado para o estudo foi: Patologias em torres autoportantes.

À falta de material científico, nos motivou ao tema, visto que muitas normas e regras para a construção, manutenção e reparo das mesmas são providas de normas estrangeiras. Visamos que este trabalho possa ser usado de base para futuros estudos.

No decorrer da formulação do projeto, comprovamos a ausência de material específico sobre assunto no âmbito nacional, o que pode ser confirmado segundo Rothier (2017).

“Entretanto, no âmbito nacional, os documentos encontrados são genéricos, com baixo grau de detalhamento e não aprofundando em etapas importantes do dimensionamento. Esse fato, junto com o grande número de empresas internacionais atuantes no setor no Brasil.”

Como observado nos presentes estudos de casos, podemos encontrar situações diversas para o surgimento ou não de patologias. Tendo como base o poste utilizado no estudo 1, que não houve manifestações patológicas devido as medidas preventivas que foram tomadas. Sendo assim, se todos os métodos preventivos forem aplicados da maneira e no tempo correto as torres não apresentaram qualquer forma patológica. O que pode ser afirmada pela tabela 3 citada por Sacchi e Souza (2016).

Entretanto, com base no que foi citado à cima, podemos observar que os métodos preventivos não foram adotados na torre utilizada no estudo de caso 2, levando assim a sua deterioração, já que à mesma teve partes do seu elemento estrutural danificada decorrente da oxidação e corrosão.

Por se tratar de uma torre com elementos tubulares, dificulta a aplicação de proteção contra os processos de corrosão no interior dos tubos, que com base no quadro 1 de Sacchi e Souza (2016), podemos dizer que as corrosões presentes foram às corrosões localizadas e as generalizadas.

Esse sistema estrutural dificulta também a análise detalhada em relação a manifestações patológicas, tornando inviável a utilização do mesmo. Segundo o engenheiro Arlon Rodrigues, responsável técnico da empresa RQ Engenharia, todas as torres com esse sistema serão substituídas nos próximos anos devido aos problemas citados.

Com base nos dois estudos, identificamos a importância do planejamento de projetos, a escolha de materiais, e métodos preventivos, visando a estabilidade e segurança estrutural, sem a manifestação patológicas, de modo que atenda sua vida útil planejada.

7 CONCLUSÃO

A proposta deste trabalho se perfez em analisar as principais patologias apresentadas em torres de telecomunicações autoportantes, visto que nas últimas décadas foi possível perceber um grande aumento de sua demanda, com o avanço tecnológico na área de telecomunicação assim, como por consequência, a ampliação da rede de telefonia móvel.

No transcorrer deste estudo sobre patologias em torres de telecomunicações autoportantes, notou-se uma carência de literatura e estudos e pesquisas voltadas para a área, assim como referências bibliográficas, principalmente quando se refere às normas para dimensionamento em âmbito nacional, dificultando, deste modo, a padronização de procedimentos pois os parâmetros, em sua

maioria, são internacionais, o que exige uma adaptação quanto às normas brasileiras e as condições climáticas, visto que o Brasil possui dimensões continentais.

Para tanto foi feito um estudo dos materiais utilizados e seus estados limites, além de analisar alguns fatores relevantes que impactam de forma direta na vida útil da torre metálica, tais como as intempéries, umidade, oxidação das estruturas, falhas nas ligações parafusadas, falhas na execução do projeto, qualidade do material e carência de manutenção e mão-de-obra especializada.

No decorrer do estudo de caso, pode-se compreender como é executado uma vistoria técnica junto a profissionais capacitados. O primeiro caso, um poste com estrutura tubular de diâmetros diferentes em cada seção, que após vistoria minuciosa, feita por meio de fotos e laudos, foi constatado que não apresentava nenhum tipo de patologia, por se tratar de uma instalação recente em bom estado de conservação, com manutenção adequada, reforçando deste modo, a importância das manutenções preventivas.

No estudo do segundo caso, uma torre metálica autoportante com seção transversal triangular, foi possível constatar, mediante as vistorias, que toda a estrutura estava com suas seções comprometidas devido a oxidação, decorrente da falta de manutenções preventivas, o que poderia levar ao colapso toda a instalação.

Deste modo concluiu-se que a desativação da torre seria a solução mais viável, diante das condições avançadas de degradação. Para tanto ergueu-se nova torre interna, assim como todo o reforço de sua fundação, para que a estrutura antiga fosse desativada.

Diante de tudo que foi apresentado, consideramos a relevância da realização das manutenções preventivas, a fim de identificar possíveis problemas patológicos, de modo antecipado, o que irá prolongar o tempo de vida útil das torres, além de ser economicamente mais viável.

É de suma importância ressaltar que se faz necessário a formação de mão-de-obra especializada, que atenda a esta demanda crescente, além de uma análise crítica quanto as normas e procedimentos internacionais. O Brasil carece de normas próprias, voltadas para a sua realidade, adequadas ao seu território e ao seu clima tão diverso. Desta forma, estaríamos preparados para acompanhar este setor da economia que está em plena expansão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIACAO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. NBR 8.800: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. 2a Ed. Rio de Janeiro, ago 2008. 237p
- DAL'BÓ, T. C. M. D.; SARTORTI, A. L. Falhas e patologias nas estruturas metálicas. 2012. (Apresentação de Trabalho/Congresso).
- ESSI, Nádia Fernanda Moraes. Ligações em superestruturas metálicas: tipos e aplicações. 2018. 36 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade de Cuiabá, Cuiabá, 2018.
- PRAVIA, Z. M. C.; BETINELLI, E. A (2016). Falhas em estruturas metálicas: conceitos e estudos de caso. Curso de Engenharia Civil da FEAR –UPF.
- PFEIL, Walter; PFEIL, Michèle. Estruturas de aço: dimensionamento prático. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009.
- PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca; Bragança. Estruturas metálicas: cálculos, detalhes, exercícios e projetos. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2005.
- RODRIGUES, Felipe Rezende. Verificação estrutural de uma torre de telecomunicações treliçada de aço com 60 metros de altura e seção triangular. 2016. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- ROTHIER, Ricardo Gonçalves da Fonseca. Análise e dimensionamento de uma torre de aço de telecomunicações. 2017. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017
- SACCHI, Caio César; SOUZA, Alex Sander Clemente de. Manifestações patológicas e controle de qualidade na montagem e fabricação de estruturas metálicas. Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, São Carlos, v.13, n.1, p.115, 31 ago. 2016. Universidade Federal de Goiás. <<http://dx.doi.org/10.5216/r eec.v13i1.41214>>.
- TELEBRÁS - SDT 240-410-600 - 1997 - Procedimentos de projeto para torres metálicas auto-suportadas, estaiadas e postes metálicos
- VALENCIANI, V.C. (1997). Ligações em estruturas de aço. São Carlos, 1997, 309p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- VITÓRIO, Afonso. Fundamentos da patologia das estruturas nas perícias de engenharia. IBAPE, Recife, 2003.

 conhecimentolivre.org/home
 contato@conhecimentolivre.org
 [editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)



ENGENHARIA: SOLUÇÕES E INOVAÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO

VOLUME IV