Tópicos Especiais em ENGENHARIA:

inovações e avanços tecnológicos
Vol. 11

Adriano Mesquita Soares
(Organizador)

AYA EDITORA
2024

Adriano Mesquita Soares
(Organizador)

Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos

Vol. 11

Ponta Grossa
2024

Direção Editorial
Prof.° Dr. Adriano Mesquita Soares
Organizador
Prof.° Dr. Adriano Mesquita Soares
Capa
AYA Editora©
Revisão
Os Autores
Executiva de Negócios
Ana Lucia Ribeiro Soares
Produção Editorial
AYA Editora©
Imagens de Capa
br.freepik.com
Área do Conhecimento
Engenharias

Conselho Editorial

Prof.° Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva
Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí
Prof.° Dr. Aknaton Toczek Souza
Centro Universitário Santa Amélia
Prof.ª Dr.ª Andréa Haddad Barbosa
Universidade Estadual de Londrina
Prof.ª Dr.ª Andreia Antunes da Luz
Faculdade Sagrada Família
Prof.° Dr. Argemiro Midonês Bastos
Instituto Federal do Amapá
Prof.° Dr. Carlos López Noriega
Universidade São Judas Tadeu e Lab. Biomecatrônica - Poli - USP
Prof.° Dr. Clécio Danilo Dias da Silva
Centro Universitário FACEX
Prof.ª Dr.ª Daiane Maria de Genaro Chiroli
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof.ª Dr.ª Danyelle Andrade Mota
Universidade Federal de Sergipe
Prof.ª Dr.ª Déborah Aparecida Souza dos Reis
Universidade do Estado de Minas Gerais
Prof.ª Ma. Denise Pereira
Faculdade Sudoeste – FASU
Prof.ª Dr.ª Eliana Leal Ferreira Hellvig
Universidade Federal do Paraná
Prof.° Dr. Emerson Monteiro dos Santos
Universidade Federal do Amapá
Prof.° Dr. Fabio José Antonio da Silva
Universidade Estadual de Londrina
Prof.° Dr. Gilberto Zammar
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof.ª Dr.ª Helenadja Santos Mota
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, IF Baiano - Campus Valença
Prof.ª Dr.ª Heloísa Thaís Rodrigues de Souza
Universidade Federal de Sergipe
Prof.ª Dr.ª Ingridi Vargas Bortolaso
Universidade de Santa Cruz do Sul
Prof.ª Ma. Jaqueline Fonseca Rodrigues
Faculdade Sagrada Família
Prof.ª Dr.ª Jéssyka Maria Nunes Galvão
Faculdade Santa Helena
Prof.° Dr. João Luiz Kovaleski
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof.° Dr. João Paulo Roberti Junior
Universidade Federal de Roraima
Prof.° Me. Jorge Soistak
Faculdade Sagrada Família
Prof.° Dr. José Enildo Elias Bezerra
Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Ceará, Campus Ubajara
Prof.ª Dr.ª Karen Fernanda Bortoloti
Universidade Federal do Paraná
Prof.ª Dr.ª Leozenir Mendes Betim
Faculdade Sagrada Família e Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais
Prof.ª Ma. Lucimara Glap
Faculdade Santana

Prof.° Dr. Luiz Flávio Arreguy Maia-Filho
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof.° Me. Luiz Henrique Domingues
Universidade Norte do Paraná

Prof.° Dr. Milson dos Santos Barbosa
Instituto de Tecnologia e Pesquisa, ITP

Prof.° Dr. Myller Augusto Santos Gomes
Universidade Estadual do Centro-Oeste

Prof.ª Dr.ª Pauline Balabuch
Faculdade Sagrada Família

Prof.° Dr. Pedro Fauth Manhães Miranda
Universidade Estadual de Ponta Grossa

Prof.° Dr. Rafael da Silva Fernandes
Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus Parauapebas

Prof.ª Dr.ª Regina Negri Pagani
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.° Dr. Ricardo dos Santos Pereira
Instituto Federal do Acre

Prof.ª Dr.ª Rosângela de França Bail
Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais

Prof.° Dr. Rudy de Barros Ahrens
Faculdade Sagrada Família

Prof.° Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares
Universidade Federal do Piauí

Prof.ª Dr.ª Silvia Aparecida Medeiros Rodrigues
Faculdade Sagrada Família

Prof.ª Dr.ª Silvia Gaia
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Sueli de Fátima de Oliveira Miranda Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.ª Dr.ª Thaisa Rodrigues
Instituto Federal de Santa Catarina

© 2024 - AYA Editora - O conteúdo deste Livro foi enviado pelos autores para publicação de acesso aberto, sob os termos e condições da Licença de Atribuição *Creative Commons* 4.0 Internacional **(CC BY 4.0)**. Este livro, incluindo todas as ilustrações, informações e opiniões nele contidas, é resultado da criação intelectual exclusiva dos autores. Os autores detêm total responsabilidade pelo conteúdo apresentado, o qual reflete única e inteiramente a sua perspectiva e interpretação pessoal. É importante salientar que o conteúdo deste livro não representa, necessariamente, a visão ou opinião da editora. A função da editora foi estritamente técnica, limitando-se ao serviço de diagramação e registro da obra, sem qualquer influência sobre o conteúdo apresentado ou opiniões expressas. Portanto, quaisquer questionamentos, interpretações ou inferências decorrentes do conteúdo deste livro, devem ser direcionados exclusivamente aos autores.

T757 Tópicos especiais em engenharia: inovações e avanços tecnológicos [recurso eletrônico]. / Adriano Mesquita Soares (organizador). -- Ponta Grossa: Aya, 2024. 252 p.

v.11

Inclui biografia
Inclui índice
Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
ISBN: 978-65-5379-515-0
DOI: 10.47573/aya.5379.2.313

1. Engenharia – Estudo e ensino. 2. Indústria de tecnologia de ponta - Localização – Brasil. 3. Drone. 4. Areia – Transporte. 5. Pedreiras e extração de pedras. 6. Engenharia mecânica. 7. Gestão da qualidade total. 8. Inteligência artificial. I. Soares, Adriano Mesquita. II. Título

CDD: 620.007

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Bruna Cristina Bonini - CRB 9/1347

International Scientific Journals Publicações de Periódicos e Editora LTDA
AYA Editora©
CNPJ: 36.140.631/0001-53
Fone: +55 42 3086-3131
WhatsApp: +55 42 99906-0630
E-mail: contato@ayaeditora.com.br
Site: https://ayaeditora.com.br
Endereço: Rua João Rabello Coutinho, 557
Ponta Grossa - Paraná - Brasil
84.071-150

SUMÁRIO

Apresentação..... 11

01

Parques tecnológicos: inovação e competitividade científica e tecnológica 13

Ricardo Furtado Rodrigues

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.1

02

Modelagem e análise de estabilidade de um drone terrestre de duas rodas com acionamento diferencial 24

Leandro Amaro Ferreira
Flávio Luiz Rossini
Leandro Castilho Brolin

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.2

03

Experimentos práticos com inversor de frequência 43

Douglas Morais
Rodrigo dos Santos
Victor Rafael da Silva
Guilherme dos Santos Nascimento
Alexandre Ferreira Marçal

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.3

04

Automatização do processo manual do corte de pedra 54

Joelson Juk
Flávio Adalberto Poloni Rizzato
Thalyta Cavalcante da Silva
Eduardo Valomin Saczk

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.4

05

A aplicação da tecnologia na melhoria dos processos de extração e transporte de areia e pedregulho 76

Evandro Tozzi Mendonça
Antônio Marcos Correa Pinto
Dinorah Tercal da Rosa

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.5

06

Eficiência energética aplicado a sistemas de iluminação 87

João Vitor de Oliveira Valerio
Vinícius Souza Silva
Leonardo Tomaz Veraszta
Mauro da Silva Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.6

07

Pluviômetro automatizado com monitoramento em tempo real 93

João Victor Nunes Bombarda
Arthur Moraes e Videira
Willians Ribeiro Mendes
Flavilene da Silva Souza
Tiago Rossato Muraro
Claudinilson Alves Luczkiewicz

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.7

08

Soft starters como uma estratégia para otimizar a eficiência energética em sistemas industriais: funcionamento, aplicações, ByPass, ajustes e parametrizações 111

Clécio Santos de Jesus
Isaque Martins Silva
José Carlos Carvalho Araujo
Mauro da Silva Santos
Douglas Morais

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.8

09

Conservação e reaproveitamento de ar comprimido com a utilização do músculo pneumático 124

Carlos Eduardo de Moraes
Reginaldo Bolognese da Silva Santos
Lucas Henrique Vespasiano
André Rosa Ferreira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.9

10

Estratégias para eficiência, desafios e sucessos na implementação da manutenção produtiva total no setor metalmecânico..... 139

Cleber Rodrigues de Souza
Ricardo de Freitas Zandona
Sandro Andre Cardoso
Deocleciano Reis Martins
Fernando Santos de Oliveira

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.10

11

A inteligência artificial na manutenção preditiva: avanços, aplicações e impacto 152

Ronaldo Martiniano
Felipe da Silva Estevão
Lucas Henrique Andrade dos Santos
Paulo Orestes Formigoni

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.11

12

Immersion in complex dynamical systems: a mathematical introduction to dynamical systems..... 163

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.12

13

Analyzing Ossean flow in unbounded regions via Sobolev spaces: a focused functional investigation... 175

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.13

14

Desenvolvimento de um analisador de temperatura para ensaios laboratoriais..... 183

Gustavo Avelar Cabral
Leonir José da Costa Júnior
Vinícius Hercilio Correa

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.14

15

Experimentos didáticos em servo acionamentos 191

Delano Câmara França
Gabriel da Silva Vieira
João Pereira dos Anjos
Marcos Aurélio de Oliveira
Nathália Rocha Lopes
Taylor da Silva Lima

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.15

16

Bioatividade de extrativos vegetais de espécies Arbóreas da família Fabaceae da Amazônia central frente a cupins *Nasutitermes* (Isoptera; Termitidae) ... 203

Cristiano Souza do Nascimento
Ana Paula Ribeiro Barbosa
José Wellington de Morais
José Carlos Rodrigues Soares
Valdiek da Silva Menezes
Claudia Eugenio da Silva
Roberto Daniel de Araújo

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.16

17

Gestão da Qualidade: proposta de implementação de melhorias e atualização da norma ISO 9001 a partir do uso de ferramentas da qualidade 225

Williams Alves de Azevedo
Talita Silva Santos de Azevedo

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.17

Organizador..... 246

Índice Remissivo..... 247

Apresentação

No cenário contemporâneo da engenharia, as inovações e avanços tecnológicos desempenham um papel fundamental na promoção do desenvolvimento sustentável e na competitividade global. Este volume, o décimo primeiro da série “Tópicos Especiais em Engenharia”, oferece uma coleção abrangente de pesquisas e estudos que destacam as principais tendências e soluções tecnológicas emergentes na engenharia.

O primeiro capítulo aborda a importância dos parques tecnológicos como catalisadores de inovação e competitividade científica e tecnológica. Esses ambientes promovem a sinergia entre academia, indústria e governo, facilitando a transferência de conhecimento e o desenvolvimento de novas tecnologias.

A modelagem e análise de estabilidade de um drone terrestre de duas rodas com acionamento diferencial é explorada, demonstrando avanços significativos no campo da robótica e automação. Complementando este tema, os experimentos práticos com inversores de frequência apresentam aplicações essenciais em diversos setores industriais, evidenciando a versatilidade e eficiência dessas tecnologias.

A automatização do processo de corte de pedra é discutida como uma inovação que otimiza a produtividade e segurança no setor de construção. Em paralelo, a aplicação de tecnologia na melhoria dos processos de extração e transporte de areia e pedregulho destaca como a modernização pode reduzir custos e aumentar a eficiência operacional.

A eficiência energética é um tema recorrente neste volume, abordada tanto na iluminação quanto nos sistemas industriais. A implementação de soft starters é apresentada como uma estratégia eficaz para otimizar a eficiência energética, enquanto a conservação e reaproveitamento de ar comprimido com o uso de músculos pneumáticos ilustra inovações em sistemas de pneumática.

A automação e monitoramento em tempo real de um pluviômetro representa um avanço significativo na coleta e análise de dados ambientais, essencial para a gestão de recursos hídricos. A manutenção produtiva total no setor metalmecânico é discutida com foco em estratégias de eficiência e superação de desafios, reforçando a importância da gestão proativa e integrada na indústria.

A inteligência artificial emerge como uma ferramenta poderosa na manutenção preditiva, oferecendo novas possibilidades para a antecipação de falhas e otimização de processos. A introdução matemática aos sistemas dinâmicos complexos e a análise do fluxo de Ossean em regiões ilimitadas via espaços de Sobolev exemplificam a aplicação de teorias avançadas na resolução de problemas complexos em engenharia.

O desenvolvimento de um analisador de temperatura para ensaios laboratoriais e os experimentos didáticos em servo acionamentos são apresentados como ferramentas educativas que ampliam o conhecimento prático e teórico dos futuros engenheiros. A bioatividade de extrativos vegetais da família Fabaceae contra cupins representa uma

interseção entre engenharia e biotecnologia, destacando a importância da pesquisa interdisciplinar.

Finalmente, a gestão da qualidade é abordada com uma proposta de implementação de melhorias e atualização da norma ISO 9001, utilizando ferramentas da qualidade para garantir a excelência nos processos industriais.

Este volume oferece uma visão rica e diversificada dos avanços tecnológicos e suas aplicações práticas na engenharia, sendo uma leitura essencial para profissionais, pesquisadores e estudantes que buscam entender e aplicar as inovações emergentes em seus respectivos campos.

Boa leitura!

Prof.° Dr. Adriano Mesquita Soares

Editor Chefe

Capítulo

01

Parques tecnológicos: inovação e competitividade científica e tecnológica

Science and technology parks: scientific and technological innovation and competitiveness

Ricardo Furtado Rodrigues

RESUMO

O capítulo apresenta uma pesquisa de revisão de literatura abrangente sobre os parques tecnológicos, destacando diferentes definições e características atribuídas a esses espaços de inovação e desenvolvimento. Inicialmente, são apresentadas as definições da International Association of Science Parks (IASP) e da Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores (ANPROTEC), ressaltando a importância de promover a cultura da inovação e competitividade científica e tecnológica. O texto explora ainda os objetivos dos parques tecnológicos, que incluem facilitar a transferência de conhecimento e tecnologia, estimular a criação de empresas de base tecnológica e promover o desenvolvimento econômico regional. Além disso, são discutidas as características essenciais dos parques, como a proximidade física com universidades e centros de pesquisa, a formação de empresas de base tecnológica e a colaboração entre academia, governo e setor privado. Por fim, são destacadas as condições necessárias para a consolidação de um parque tecnológico, como a existência de universidades com pesquisa de excelência, disponibilidade de financiamento e promoção da integração entre os atores envolvidos. Este capítulo fornece uma base sólida para compreender o papel dos parques tecnológicos na promoção da inovação e no desenvolvimento econômico.

Palavras-chave: parques tecnológicos; inovação; competitividade.

ABSTRACT

The chapter presents a comprehensive literature review on technology parks, highlighting different definitions and characteristics attributed to these spaces of innovation and development. Initially, the definitions of the International Association of Science Parks (IASP) and the National Asso-

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.1

ciation of Entities Promoting Innovative Enterprises (ANPROTEC) are presented, emphasizing the importance of promoting a culture of innovation and scientific and technological competitiveness. The text also explores the objectives of technology parks, which include facilitating the transfer of knowledge and technology, stimulating the creation of technology-based companies, and promoting regional economic development. Additionally, the essential characteristics of parks are discussed, such as physical proximity to universities and research centers, the formation of technology-based companies, and collaboration among academia, government, and the private sector. Finally, the necessary conditions for the consolidation of a technology park are highlighted, such as the existence of universities with excellent research, availability of funding, and promotion of integration among the actors involved. This chapter provides a solid foundation for understanding the role of technology parks in promoting innovation and economic development.

Keywords: technology parks; innovation; competitiveness

INTRODUÇÃO

Este capítulo se propõe a explorar e analisar, por meio de uma pesquisa de revisão de literatura, as definições, características e perspectivas dos Parques de Ciência e Tecnologia ou Parques Tecnológicos como práticas de inovação que promovem a inserção competitiva de empresas e da própria região na economia global. A importância desse tema reside na sua capacidade de impulsionar o crescimento econômico sustentável, fomentar a colaboração entre academia, governo e setor privado, e estimular o surgimento de novas empresas de base tecnológica.

O crescente reconhecimento dos parques tecnológicos como agentes fundamentais no ecossistema da inovação reflete-se nas diversas definições e abordagens adotadas por organizações internacionais e entidades nacionais. Compreender essas definições e características é crucial para delinear estratégias eficazes de desenvolvimento e gestão desses complexos ecossistemas, especialmente no contexto de promover a inovação e competitividade científica e tecnológica nos parques tecnológicos.

Competitividade científica e tecnológica refere-se à capacidade de uma entidade, seja uma empresa, uma instituição de pesquisa ou um país, de se destacar e competir efetivamente no cenário global em termos de desenvolvimento e aplicação de conhecimentos científicos e tecnológicos. Isso envolve não apenas a geração de novas descobertas científicas e tecnológicas, mas também a capacidade de traduzir essas descobertas em produtos, serviços ou processos inovadores que tragam benefícios econômicos e sociais.

A competitividade científica e tecnológica pode se manifestar de várias formas, incluindo: desenvolvimento de tecnologias de ponta que proporcionam vantagens competitivas em mercados específicos; investimento em pesquisa e desenvolvimento para manter ou aumentar a liderança em determinados setores industriais; colaborações e parcerias estratégicas entre empresas, instituições de pesquisa e governo para impulsionar a inovação e a transferência de tecnologia; e atração e retenção de talentos qualificados em ciência e tecnologia para impulsionar a capacidade de inovação.

Enfim, todo esse processo mencionado desempenha um papel fundamental na garantia da sustentabilidade e no impulso do progresso econômico dos parques tecnológicos, em um mundo cada vez mais direcionado à inovação e à tecnologia.

A próxima seção deste capítulo abordará detalhadamente as definições, características e perspectivas desses espaços dinâmicos de inovação. Posteriormente, serão apresentadas as considerações finais, seguidas das referências utilizadas neste estudo. Assim, este capítulo oferece uma abordagem abrangente e estruturada para compreender o papel fundamental dos parques tecnológicos na promoção da inovação e no desenvolvimento econômico sustentável.

PARQUES TECNOLÓGICOS: DEFINIÇÕES, CARACTERÍSTICAS E PERSPECTIVAS

Segundo dados de abril de 2024, a *International Association of Science Parks* (IASP), que hoje reúnem 400 membros localizados em 77 países (veja tabela 1), existem diferentes definições de parque em todo mundo, e por isso a IASP realizou um esforço para identificar os principais denominadores comuns nos diversos modelos existentes de parques, além de definir os padrões e requisitos mínimos para fazer o reconhecimento dos parques tecnológicos.

Tabela 1 - IASP.

CRIAÇÃO	1984	
MEMBROS	350	
EMPRESAS	115.000	
PAÍSES	80	
DIVISÕES REGIONAIS	7	África América do Norte América do Sul Ásia-Pacífico Ásia-Oeste Europa
ESCRITÓRIOS	2	Sede: Malaga, Espanha Filial: Beijing, China
CONFERÊNCIAS MUNDIAIS	40	
WORKSHOP E SEMINÁRIOS REGIONAIS	182	

Fonte: www.iasp.ws (2024)

Conforme informações disponibilizadas no site da IASP antes de formalizar uma definição geral foi necessário realizar uma pesquisa para comparar os vários modelos e experiências de parques existentes em 80 países onde estão localizados os membros, justamente para garantir um caráter mais verdadeiro a definição global. Posto isso, em 2002, a IASP formulou uma definição que engloba os principais denominadores comuns e características de um parque tecnológico:

> A Science Park is an organization managed by specialized professionals, whose main aim is to increase the wealth of its community by promoting the culture of innovation and the competitiveness of its associated businesses and knowledge-based institutions (IASP,2002).

Já para a Associação Nacional de Entidades Promotoras de Empreendimentos Inovadores (ANPROTEC) que representa os interesses dos parques tecnológicos no Brasil, define parques tecnológicos como:

> Complexo industrial de base científico-tecnológica planejado, de caráter formal, concentrado e cooperativo, que agrega empresas cuja produção se baseia em pesquisa tecnológica desenvolvida nos centros de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) vinculados ao Parque; e um empreendimento promotor da cultura da inovação, da competitividade, do aumento da capacitação empresarial fundamentado na transferência de conhecimento e tecnologia, com o objetivo de incrementar a produção de riqueza (Anprotec & Sebrae, 2002, p.80).

Ainda segundo a ANPROTEC & SEBRAE (2002) o parque pode ser compreendido como:

> Um empreendimento promotor da cultura da inovação, da competitividade, do aumento da capacitação empresarial fundamentado na transferência de conhecimento e tecnologia, com o objetivo de incrementar a produção de riqueza.

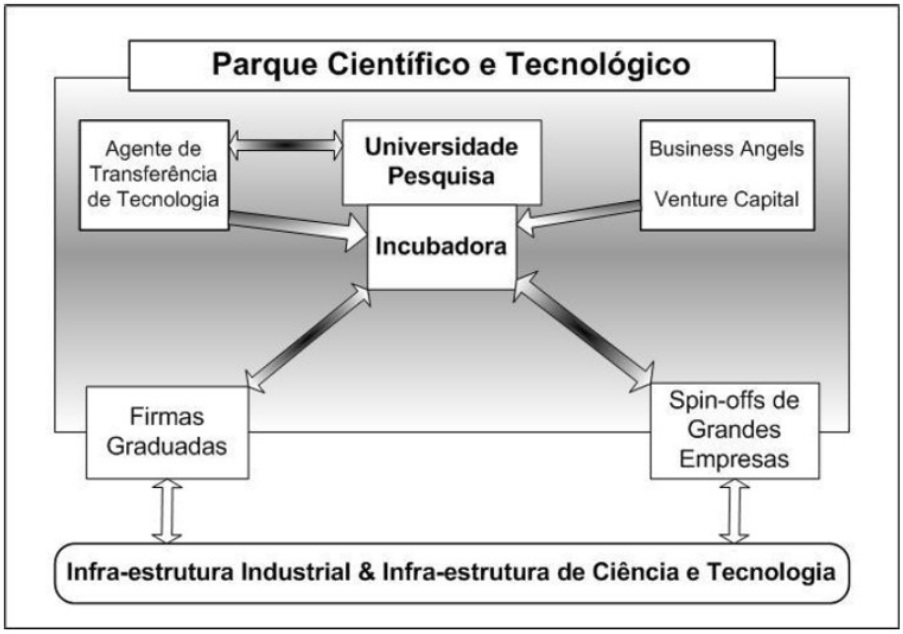
Diante do exposto a definição mais adequada é considerar os parques tecnológicos como instituições complexas e evolutivas, organizadas num mesmo espaço territorial, gerido por profissionais especializados, cujo objetivo principal é aumentar a riqueza de sua comunidade, promovendo a cultura da inovação e da competitividade de suas empresas e instituições de pesquisa num determinado território.

Para alcançar essas metas, um parque deve estimular e gerenciar o fluxo de conhecimento e tecnologia entre as universidades, centros de P&D, empresas e seus mercados, facilitando a criação e consolidação de empresas de base tecnológica através da incubação e processo de "*spin-off*", além de prover outros valores agregados como espaço de alta qualidade e infraestrutura adequada para inovação (*IASP International Board, 6 February 2002 apud* IASP, 2012).

Segundo Lunardi (1997), o principal objetivo dos parques tecnológicos é oferecer condições favoráveis de localização, para que novos empreendimentos possam ser implantados, seja por novas empresas, seja por divisões de empresas já existentes. A meta é fornecer o melhor suporte em termos de informação, de conhecimentos técnico-científicos, do uso das facilidades e outras formas de interação, visando alavancar o processo de desenvolvimento de um território.

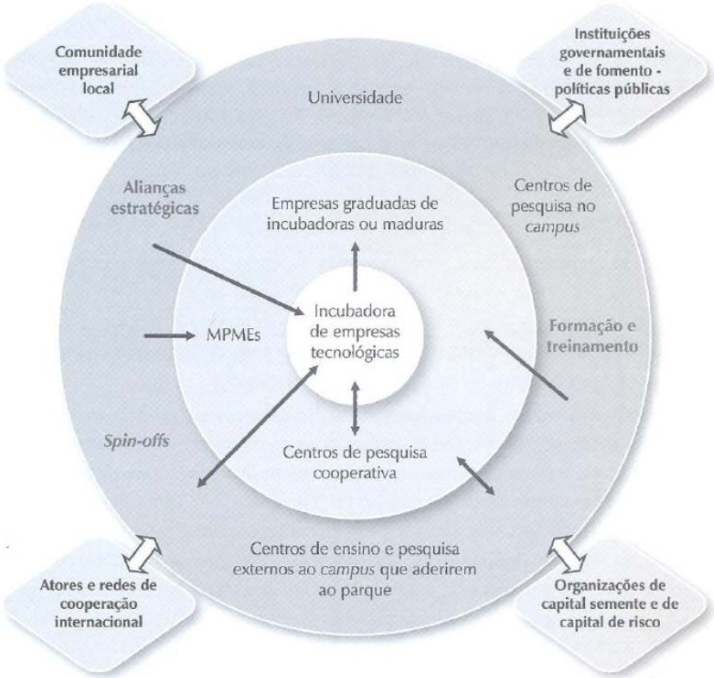
A relação entre os diversos atores e a rede de relacionamentos e interações entre esses atores do parque pode ser representado a partir das figuras 1 e 2.

Figura 1 - Modelo de Parque Tecnológico proposto pela OCDE (1997).



Fonte: Gargione (2011).

Figura 2 – Relação entre Atores de um Parque Tecnológico.



Fonte: Paladino e Medeiros (1997).

Para Camargo (2010), Stainsack (2003), Lunardi (1997) o parque tecnológico é uma iniciativa localizada num território apropriadamente urbanizado onde os atores devem possuir uma relação de harmonia e comprometimento, com base em três características básicas:

1. Ter ligações formais com a universidade ou outras instituições de ensino e pesquisa;
2. Permitir a formação e crescimento de empresas de base tecnológica e outras organizações que também se situam no local;

3. Ser coordenado por uma entidade que desempenha as funções de gerente do parque, a qual estimula a transferência de tecnologia e promove ações voltadas ao aumento da capacitação das empresas e dos demais empreendimentos que residem no local.

Ou seja, segundo os autores, as empresas estão agrupadas num mesmo local, dentro ou próximo ao campus da universidade, e estão inseridas em projetos de inovação tecnológicas, geralmente estimuladas pelo governo.

Balconi e Passannanti (2006) também defendem a ideia de que o parque tecnológico possui três características fundamentais:

1. Desenvolvimento imobiliário;
2. Programa organizativo da atividade de transferência de tecnologia; e
3. Parceria entre instituições acadêmicas, governo e setor privado.

Essa última característica reforça o ponto de vista de que parques são ambientes que aplicam o modelo chamado da "Hélice Tríplice[1]" (Magacho, 2010). Assim, a hélice tríplice pode ser concebida como uma plataforma formadora de instituições e criadora de novos formatos organizacionais de modo a promover ciência, tecnologia e inovação (Leydesdorff, 2012; Etzkowitz, 2002; Etzkowitz & Leydesdorff, 2000).

Para Gomes (1995), os pressupostos básicos do modelo de parques tecnológicos difundidos mundialmente são:

- Proximidade física para promover o eficaz relacionamento universidade/empresa;
- Rede de relacionamento informal e também de colaboração e cooperação técnica (*networks*);
- Existência do acadêmico-empreendedor: pesquisadores acadêmicos iniciam seus próprios negócios a partir de resultados de pesquisas conduzidas pela universidade/instituto de pesquisa. São os chamados *Spin off*.
- Presença de incubadoras tecnológicas para prestar apoio aos novos empreendedores;
- Incentivo para a criação de empresas de base tecnológica, dado que possuem elevada capacidade de gerar emprego e renda;
- Pequenas e médias empresas de base tecnológica localizadas no parque são responsáveis pelo esforço de transferência do conhecimento e da tecnologia pelas universidades e institutos de pesquisa.

Já para Courson (1997), o parque tecnológico é considerado uma espécie de sistema ou rede. Trata-se de uma organização complexa e evolutiva. O autor caracteriza a origem dos parques a partir de duas vertentes, são elas:

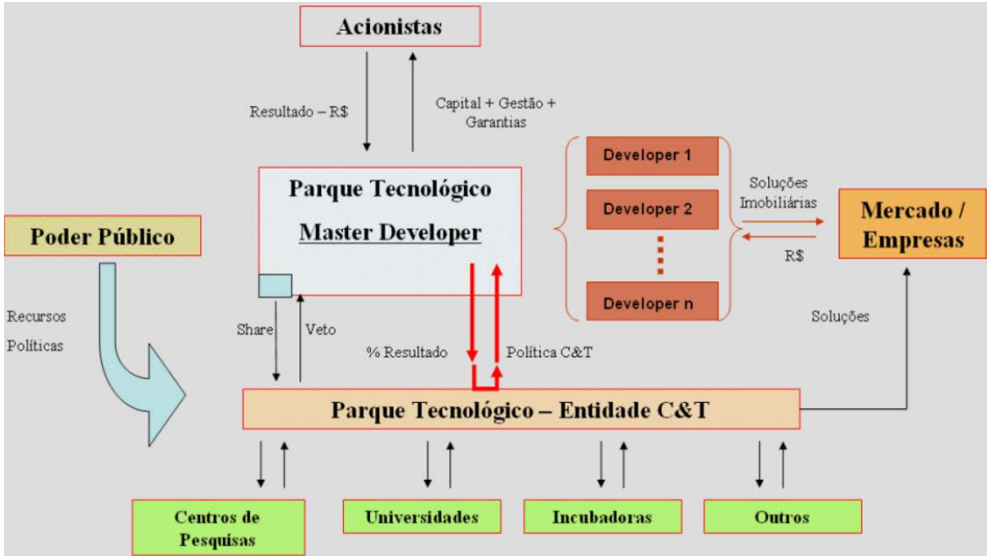
1 Relações de parceria e interação entre universidade, empresa e governo, na qual, além do fluxo normal do conhecimento da universidade para o setor produtivo, ocorre também um fluxo reverso da indústria para a academia - modelo contemporâneo de modo de produção de conhecimento técnico-científico.

1. Associação, num mesmo lugar ou próximo a ele, de quatro tipos de atores: universidades, laboratórios e/ou institutos de pesquisa, empresas de alta tecnologia e serviços correlatos.

2. As ligações, fluxos e relações – dois a dois – entre esses diversos atores. Tais fluxos são mais ou menos intensos; permanentes ou periódicos; constantes ou raros. O tipo de fluxo varia: podem ser físicas (bens, homens, materiais), ou basear-se na troca de informações, na busca de financiamentos, na tomada de decisão, transferência de conhecimentos e/ou tecnologia etc. O relacionamento é importante, estratégico e essencial.

Steiner, Cassim e Robazzi (2007), elaboraram um diagrama (figura 3) para ilustrar a estrutura de um parque tecnológico, e apresentam ainda, as principais atribuições envolvidas no processo de estruturação e operação de um parque, que também é citado por Giugliani (2011) conforme pode ser observado no quadro 1. Já Gargione (2011) vai além ao apresentar os principais atributos dos parques tecnológicos no século XXI, conforme demonstrado no quadro 2.

Figura 3 - Modelo Estrutural de um Parque Tecnológico no Brasil.



Fonte: Steiner, Cassim e Robazzi (2007)

Quadro 1 – Atribuições dos atores de um Parque Tecnológico.

PRINCIPAIS ATORES	ATRIBUIÇÕES
Parque Tecnológico (Entidade C&T)	Entidade central e definidora do Parque Tecnológico, tendo como principal responsabilidade a implementação do projeto de C&T do parque e atração e desenvolvimento de EBTs. Para isso, torna-se responsável pela articulação com os Governos, Centros de Pesquisas, Universidades, Incubadoras, EBTs e empreendedores.
Poder Público	São as Prefeituras, Governo do Estado e União, inclusive agências de fomento e financiamento. Com papéis específicos e complementares desde a articulação para determinar as diretrizes do empreendimento, como vocações, prioridades, metas quantitativas e qualitativas, incentivos, até aporte de recursos e consolidação das políticas para a viabilização dos Parques Tecnológicos.
Parque Tecnológico (Incorporador Master)	Responsável pelo empreendimento imobiliário. Atua na construção de espaços físicos com infraestrutura urbana adequada à atividade de pesquisa, desenvolvimento e inovação, visando a instalação de empresas. Obtém receitas através de negócios objetivando a valorização regional da área.

PRINCIPAIS ATORES	ATRIBUIÇÕES
Developers (Incorporadores)	Aqueles agentes que alinhados às Diretrizes do Parque Tecnológico e através de negócios imobiliários específicos com o Incorporador Master, serão responsáveis em construir e vender ou alugar espaços para empresas (EBT) e prestadores de serviços, incluindo hotéis, auditórios, restaurantes, serviços gráficos, etc.
Universidades, Centros de Pesquisas, Incubadoras e outros	Agentes geradores de conhecimento e de recursos humanos que podem dar grande contribuição na implementação do projeto de C&T do Parque, sobretudo por sua proximidade geográfica ao Parque Tecnológico.
Mercado/Empresas	São as EBTs com potencial de instalação no Parque Tecnológico, variando de micro empresas incubadas a empresas âncoras.

Fonte: Steiner, Cassim e Robazzi (2007), adaptado pelo autor.

Como existem diversas interfaces em um projeto de parque tecnológico e muitas vezes as ações dos envolvidos se confundem, Steiner, Cassim e Robazzi (2007) ressaltam que as obrigações e limites de atuação de cada um sejam definidos claramente, de modo a evitar que haja conflitos futuros durante a operação do parque.

Quadro 2 – Atributos dos Parques Tecnológicos no Século 21

Infraestrutura	Universidades; Laboratórios; Instituições de pesquisa; Pequenas e médias empresas; Grandes corporações (âncora); Qualidade de vida das pessoas no ambiente.
Ambiente de Inovação	Inovação; Colaboração; Mudanças institucionais para o sucesso; Fluxo do conhecimento entre universidade, instituições, empresas e mercado; Transferência de tecnologia; Criação de novas empresas de inovação.
Modelo de Gestão	Lideranças na equipe de gestão do parque; Empresários qualificados; Parcerias público-privadas.
Financiamento e Viabilidade	Capacidade do parque em acessar recursos financeiros; Gestão financeira sustentável; Fundos de investimentos para o parque e EBTs.
Visão Geral	Programas de incubação; Economia baseada no conhecimento; Políticas Públicas; Atração de pessoal qualificado (pesquisadores).

Fonte: Adaptado de Gargione (2011).

Para que haja a consolidação de um parque o mesmo deve buscar a sinergia entres seus atores, e gerar efeitos econômicos – como novos empregos, novas empresas, valor compartilhado e inovações tecnológicas. Nesse contexto, Medeiros (1997) e Wolfarth (2004) aconselham que a implantação de um parque tecnológico num determinado território deve levar em consideração algumas condições, são elas:

- Existência de universidades com linhas de pesquisa de excelência que possibilitem aos pesquisadores um ambiente adequado para o desenvolvimento das pesquisas, além de outras atividades voltadas para a transferência de tecnologia e conhecimento;
- Disponibilidade de estruturas de financiamento para as empresas, principalmente

para as pequenas e médias empresas;

- Competências para captar as demandas das empresas instaladas no parque, identificando o potencial e os desdobramentos em novas tecnologias;
- Capacidade de realizar projetos articulados entre os parceiros, além de estimular a complementaridade entre as diversas ações voltadas para inovação; e
- Promover a integração dos parceiros em uma rede de cooperação e a valorização das empresas a partir do compartilhamento de conhecimentos.

O parque tecnológico deve dispor de um ambiente com uma forte presença de empresas de tecnologia, além de centros de pesquisa e desenvolvimento, laboratórios, instituições de ensino e outros supridores de apoio de elevada qualificação. Também é comum a dotação de sistemas sociocognitivos avançados que proporcionam grande potencial de aprendizado no interior do parque (Cunha, 2006).

Outra característica significativa de um parque é a sua capacidade de gerar localmente novos conhecimentos passíveis de serem transformados em novos produtos e processos, através da rede de empresas locais e da conexão local com a rede mundial de informações (Correia, 2010); Caltells e Hall (1994). Para Lofsten e Linderlof (2002) e Magacho (2010) essa característica é o reflexo de que a inovação tecnológica tem origem na pesquisa científica, e que os parques enquanto ambiente catalisador são capazes de transformar a pesquisa em produtos comercializáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo detalhado das definições, características e perspectivas dos parques tecnológicos revela não apenas a sua importância atual, mas também as oportunidades e desafios que enfrentam em um cenário em constante evolução. Ao longo deste capítulo, pudemos observar como esses espaços se tornaram elementos essenciais para a promoção da inovação e do desenvolvimento econômico em todo o mundo.

É evidente que os parques tecnológicos desempenham um papel fundamental na promoção da colaboração entre universidades, empresas e governo, facilitando a transferência de conhecimento e tecnologia e estimulando a criação de empresas de base tecnológica. Além disso, sua capacidade de gerar empregos, promover o crescimento econômico regional e impulsionar a competitividade científica e tecnológica os torna atores indispensáveis no cenário da inovação.

No entanto, o futuro dos parques tecnológicos não está isento de desafios. À medida que a tecnologia avança e as demandas do mercado mudam, esses espaços precisam se adaptar e se reinventar continuamente para permanecerem relevantes e eficazes. A busca por uma maior integração entre os diversos atores do ecossistema da inovação, o desenvolvimento de políticas públicas adequadas e o fortalecimento das parcerias público-privadas emergem como aspectos-chave para garantir o sucesso e a sustentabilidade dos parques tecnológicos no futuro.

Portanto, diante das oportunidades e desafios apresentados, é necessário que

os gestores, pesquisadores e demais envolvidos com os parques tecnológicos continuem a colaborar e a buscar soluções inovadoras para enfrentar os desafios do mundo contemporâneo. Assim, esses espaços dinâmicos poderão ser plenamente aproveitados como impulsionadores de inovação, sustentabilidade e desenvolvimento em nossa sociedade.

REFERÊNCIAS

ANPROTEC & SEBRAE; **Glossário dinâmico de termos na área de tecnópoles, parques tecnológicos e incubadoras de empresas**. Coord.: José Eduardo Azevedo Fiates e Sheila Oliveria Pires; Org.: Adelaide Maria Coelho Baêta e Rosa Maria Neves da Silva. Brasília, 2002. 124 p.

BALCONI, Margherita; PASSANNANTI, Alessandro. **I Parchi Scientifici e Technologici nel Nord Itália**. Itália: Franco Angeli, 2006.

CAMARGO, A. S. L. **Fatores que influenciam a atração de empresas de Tecnologia da Informação para Polos Tecnológicos – Um estudo de caso no Petrópolis Tecnópolis.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estácio de Sá, 2010.

CASTELLS, M.; HALL, P. **Technopoles of the world: the making of 21st industrial complexes**. London: Routledge, 1994.

CORREIA, A. M. M. **Potencialidades e limites para o desenvolvimento econômico e inovativo local: uma análise comparativa em parques tecnológicos da região nordeste**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal da Paraíba, 2010.

COURSON, J. **Espaço Urbano e Parques Tecnológicos Europeus**. In. Parques Tecnológicos e Meio Urbano Artigos e Debates. Org. Gina G. Paladino e Lucília Atas Medeiros. 1.ed. Brasil, 1997. p.77-84.

CUNHA, I. J. **Análise das formas e dos mecanismos de governança e dos tipos de confiança em aglomerados produtivos de móveis no sul do Brasil e em Portugal e na Espanha (Galícia) e a associação com a inserção internacional e com a competitividade**. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: EPS/UFSC, 2006.

ETZKOWITZ, H.; **The triple helix of university-industry-govermanet: implications fot policy and evaluation**. Science Policy Institute. SISTER, 2002.

ETZKOWITZ, H., & LEYDESDORFF, L. (2000). **The Dynamics of Innovation: From National Systems and 'Mode 2' to a Triple Helix of University-Industry-Government Relations**. Research Policy, 29(2), 109-123.

GARGIONE, L. A. **Um modelo para financiamento de parques tecnológicos no Brasil: explorando o potencial dos fundos de investimentos.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

GIUGLIANI, E. **Modelo de governança para parques científicos e Tecnológicos no Brasil.** Tese (doutorado). UFSC/CTC. Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento. Florianópolis, 2011.

GOMES, E**. Imaginário e realidade em torno aos parques e pólos tecnológicos: elementos para reflexão.** Revista Econômica do Nordeste, Fortaleza, v. 29, n. 4, p. 481-503, outubro-dezembro 1998.

IASP – **International Association of Science Parks National** – Site disponível em: <http://www.iasp.ws> Acesso em: 04 abr. 2024.

LEYDESDORFF, L. **The Triple Helix of University-Industry-Government Relations**. University of Amsterdam, (ASCoR), February 2012. Disponível em: <http://www.leydesdorff.net/th12/th12.pdf>

LÖFSTEN, H. e LINDELÖF, P.; **Growth, management and financing of new technology-based firms-assessing value-added contributions of firms located on and off Science Parks**. Omega, Oxford, v. 30, n. 3, p. 143-154, 2002.

LUNARDI, Maria Elizabeth. **Parques tecnológicos: estratégias de localização em Porto Alegre, Florianópolis e Curitiba.** Curitiba: Ed. Do Autor, 1997.

MAGACHO, L. A. M. **Parque de inovação de serviços para as pessoas: metodologias para o planejamento**. Dissertação (mestrado) – PUC-RJ, Dep. de Administração, 2010.

MEDEIROS, L. A. (org.). **Parques Tecnológicos e Meio Urbano: artigos e debates.** Brasília: ANPROTEC, GTU International, 1997.

PALADINO, G.; MEDEIROS, L.A. **Parques tecnológicos e meio urbano**: artigos e debates. Brasília, DF: ANPROTEC, p. 77-84, 1997.

STAINSACK, C. **Estrutura, organização, e gestão de incubadoras tecnológicas.** 2003. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2003.

STEINER, J. E.; CASSIN, M.; ROBAZZI, A. C. **Parques Tecnológicos: Ambientes de Inovação.** São Paulo: Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo, 2007.

WOLFARTH, C. P. **Parques tecnológicos : uma proposta de modelo de gestão a partir do estudo de caso do Pólo de Informática de São Leopoldo.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2004.

Capítulo

02

Modelagem e análise de estabilidade de um drone terrestre de duas rodas com acionamento diferencial

Modeling and stability analysis of a two-wheel land drone with differential drive

Leandro Amaro Ferreira

Discente do curso de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Flávio Luiz Rossini

Discente do curso de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. ID Lattes: 8616413126887528

Leandro Castilho Brolin

Discente do curso de Engenharia Eletrônica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil. ID Lattes:7118655172023189

RESUMO

Neste trabalho, apresenta-se a modelagem e análise de estabilidade de um drone terrestre de duas rodas com acionamento diferencial. No estágio atual de desenvolvimento da ciência e da engenharia, com interconexões de grandes sistemas e equipamentos complexos, não há espaço para tentativa e erro. Dessa forma, a modelagem matemática torna-se fundamental para descrição e análise de sistemas dinâmicos. Assim, dividiu-se a pesquisa nas seguintes etapas: (i) modelar matematicamente a roda; (ii) realizar a descrição matemática do motor; (iii) modelar o pêndulo invertido; (iv) apresentar a forma de espaço de estado do sistema completo; e (v) simular e analisar a estabilidade do sistema.

Palavras-chave: modelagem matemática; dinâmica da roda; dinâmica do motor; dinâmica do pêndulo invertido; forma de espaço de estados.

ABSTRACT

In this work, we present the modeling and stability analysis of a two-wheeled ground drone with differential drive. In the current stage of science and engineering development, with interconnections of large systems and complex equipment, there is no room for trial and error. Therefore, mathema-

tical modeling becomes fundamental for the description and analysis of dynamic systems. Thus, the research was divided into the following steps: (i) mathematically modeling the wheel; (ii) performing the mathematical description of the motor; (iii) modeling the inverted pendulum; (iv) presenting the state-space form of the complete system; and (v) simulating and analyzing the stability of the system.

Keywords: mathematical modeling; wheel dynamics; engine dynamics; inverted pendulum dynamics; state space form.

INTRODUÇÃO

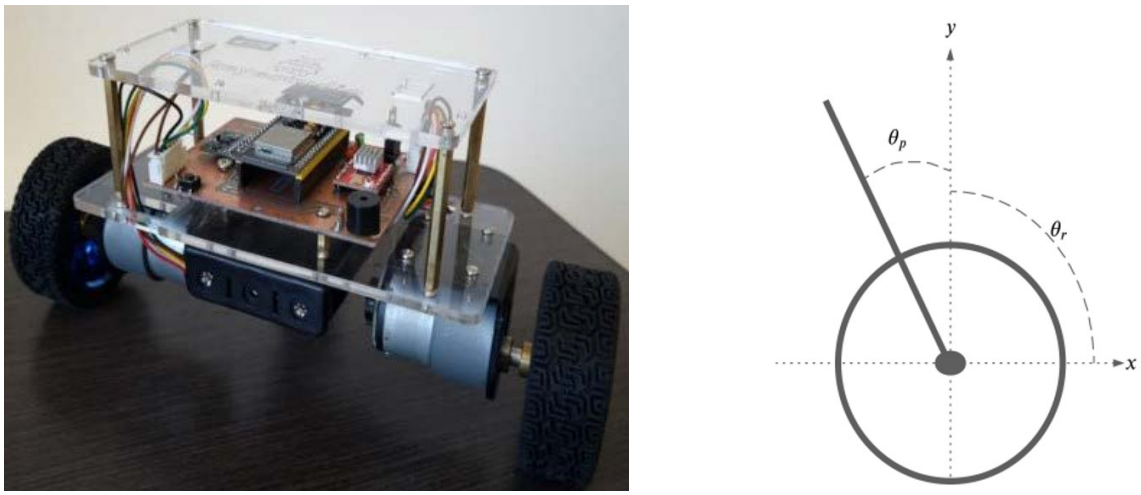
A modelagem matemática tem um papel fundamental na engenharia moderna, essa permite a descrição do comportamento de sistemas por meio de equações matemáticas [1]. A modelagem de sistemas mecânicos é feita por meio da descrição do movimento do objeto, cujas variáveis são posição, velocidade e aceleração. Já a modelagem de sistemas elétricos é realizada por meio da descrição de sinais de corrente e tensão em um circuito elétrico, esses são as respostas de dispositivos como resistores, capacitores e indutores [2,4]. As equações que regem os fenômenos possibilitam a realização de simulações e análise de desempenho na fase de projeto, dessa forma são ferramentas essenciais para o desenvolvimento de sistemas elétricos e eletrônicos [5,16], robóticos [17,36] e sistemas de controle [37,56].

Os movimentos de elementos mecânicos são categorizados pela rotação, translação ou uma combinação de ambos. Esses movimentos são descritos através de equações que representam fenômenos de sistemas mecânicos, e podem ser formulados direta ou indiretamente a partir da lei de Newton do Movimento. Essa lei estabelece que a força aplicada em um objeto é diretamente proporcional a sua massa e aceleração, e pode ser utilizada para obtenção do modelo dinâmico de sistemas mecânicos. No entanto, para sistemas mais complexos, a utilização de uma abordagem baseada em energia pode ser atraente, como as equações de Euler-Lagrange ou Hamilton. As equações são fundamentais para o estudo da mecânica e engenharia, essas permitem a compreensão e a otimização de sistemas mecânicos em diversos campos, tais como: robótica [17,36], aeronáutica, automobilística e muitos outros [57].

O avanço da tecnologia nos últimos anos tem impulsionado o desenvolvimento de sistemas baseados em pêndulos, em especial os sistemas análogos ou compostos com pêndulos invertidos [3,4]. Essas áreas incluem veículos pessoais, robôs industriais, plataformas de lançamento de foguetes [58] e drones terrestres de duas rodas, assim ilustra-se na Figura 1(a) o drone construído e na Figura 1(b) uma representação esquemática. Dessa forma, ilustra-se a versatilidade e a importância deste princípio. A aplicação da modelagem matemática nessa área se torna relevante, a qual permite a realização de simulações detalhadas e análises [3,56], dessa forma potencializam soluções mais eficientes e econômicas [59]. Assim, a modelagem matemática e o princípio do pêndulo invertido tem se mostrado um campo promissor para o avanço da engenharia e tecnologia.

Figura 1 - Representação do Drone Terrestre.

(a) imagem real **(b) esquemático**



Fonte: [4].

O trabalho se encontra dividido em três partes: (i) a modelagem matemática dos três elementos que compõem o drone, sendo o motor de corrente contínua, a roda e o pêndulo; (ii) apresenta os resultados obtidos, a partir das equações não linearizadas, as equações linearizadas e a forma no espaço de estados; e (iii) por fim, a análise de estabilidade do sistema em malha aberta.

MODELAGEM MATEMÁTICA

Dividiu-se a modelagem matemática do drone em três partes, uma para cada elemento que o compõe. Na Tabela 1, apresentam-se os parâmetros usados juntamente com as respectivas unidades de medidas.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados.

Parâmetro	Descrição	Unidade
$\ddot{\theta}_r$	Aceleração angular da roda	rad/s^2
$\ddot{\theta}_p$	Aceleração angular do pêndulo	rad/s^2
g	Aceleração da gravidade	m/s^2
k	Constante de força contra eletromotriz	V/rad/s
I_a	Corrente de armadura	A
θ_p	Deslocamento do pêndulo	rad
θ_r	Deslocamento da roda	rad
F	Força de atrito	N
N	Força normal	N
L_a	Indutância de armadura	mH
J_p	Inércia do pêndulo	kgm^2
J_r	Inércia da roda	kgm^2
m_p	Massa do pêndulo	kg
m_r	Massa da roda	kg
l	Metade do comprimento do pêndulo	m
r	Raio da roda	m

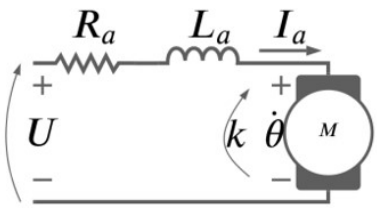
Parâmetro	Descrição	Unidade
R_a	Resistência de armadura	Ω
U	Tensão	V
T_m	Torque do motor	Nm
$\dot{\theta}_p$	Velocidade angular do pêndulo	rad/s
$\dot{\theta}_r$	Velocidade angular da roda	rad/s

Fonte: [4].

Modelo do Motor de Corrente Contínua

O motor de corrente contínua pode ser modelado através de uma representação análoga a um circuito *RL*, mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Modelo do Motor CC.



Fonte: [60].

Aplicou-se a lei de Kirchhof das tensões na malha de armadura do motor, obteve-se:

$$U = R_a I_a + k\dot{\theta} + L_a \frac{dI_a}{dt}, \tag{1}$$

O torque do motor de corrente contínua pode ser descrito por [61]:

$$T_m = kI_a. \tag{2}$$

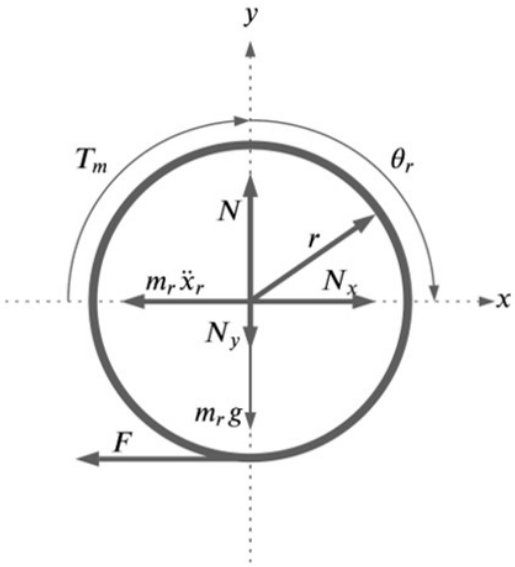
Isolou-se a corrente I_a na Equação (1) e substituiu-se na Equação (2), a fim de obter a equação referente a descrição dinâmica do motor, sendo como entrada o torque do motor:

$$T_m = \frac{k}{R_a}\left(U - k\dot{\theta} - L_a \frac{dI_a}{dt}\right) \tag{30}$$

Equações dinâmicas da Roda

Na Figura 3, realizou-se a representação simplificada e esquemática da roda do drone. A partir das convenções de força e posição, tornou-se possível a obtenção das equações dinâmicas.

Figura 3 - Forças na roda.



Fonte: Adaptado de [60].

O momento horário da roda em torno do seu centro de massa considerado a constante de inércia (J_r) multiplicada pela aceleração angular da roda ($\ddot{\theta}_r$), da forma:

$$J_r\ddot{\theta}_r = T_m + Fr. \quad (4)$$

As forças que atuam no eixo são descritas por:

$$-m_r\ddot{x}_r + N_x - F = 0. \quad (5)$$

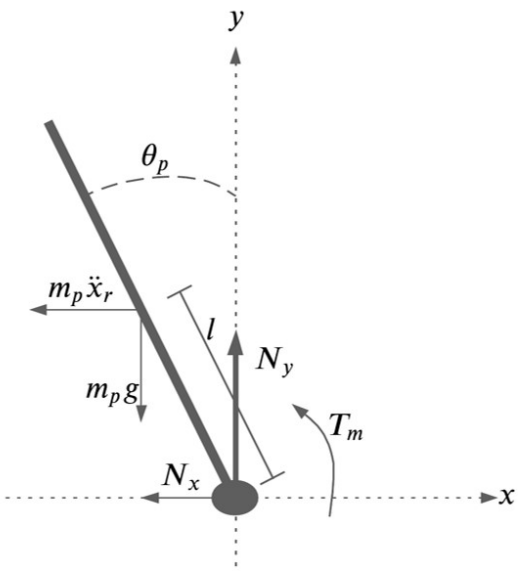
A aceleração linear $\ddot{x}_r$, que possui uma componente tangencial [61], pode ser descrita como:

$$\ddot{x}_r = \ddot{\theta}_r r. \quad (6)$$

Equações dinâmicas do pêndulo

Na Figura 4, ilustrou-se o esquemático do pêndulo e os parâmetros atribuídos. Estes parâmetros são fundamentais para a representação em espaço de estados, em especial o ângulo do pêndulo, que é o ângulo a ser controlado para manter o drone em uma referência vertical.

Figura 4 - Forças no pêndulo.



Fonte: Adaptado de [60].

Inicialmente, realizou-se o levantamento do momento de inércia anti-horário (J_r) do pêndulo em torno do seu centro de massa através do somatório de forças presentes, expresso por:

$$J_p\ddot{\theta}_p = T_m + m_p g l \, sen\, \theta_p + m_p \ddot{x}_r l \cos \theta_p \,. \tag{7}$$

As forças que atuam no eixo x são apresentadas por:

$$m_p\ddot{x}_p = -N_x - m_p\ddot{x}_r. \tag{8}$$

As forças que atuam no eixo y são apresentadas por:

$$m_p\ddot{y}_p = N_y - m_p g, \tag{9}$$

sendo, $\ddot{x}_p$ e $\ddot{y}_p$ as acelerações nos eixos x e y respectivamente, e são desconhecidas, faz-se necessário encontrá-las através dos princípios da física, onde a velocidade é a derivada da posição em relação ao tempo, enquanto que a aceleração é a derivada da velocidade em relação ao tempo [62].

A seguir, tem-se a representação das distâncias x_p e y_p .

$$\begin{cases} x_p = -l\, sen\theta_p \\ y_p = l\, cos\theta_p \end{cases} \tag{10}$$

Derivou-se as equações das posições e obteve-se as equações da velocidade em $x(\ddot{x}_p)$ em $y(\dot{y}_p)$, respectivamente. Derivou-se novamente e obteve-se as equações da aceleração em $x(\ddot{x}_p)$ e em $y(\ddot{y}_p)$, respectivamente, assim:

$$\begin{cases} \ddot{x}_p = -l\, \ddot{\theta}_p\, cos\theta_p + l\dot{\theta}_p^2 sen\theta_p \\ \ddot{y}_p = -l\, \ddot{\theta}_p\, sen\theta_p + l\dot{\theta}_p^2 cos\theta_p \end{cases} \tag{11}$$

RESULTADOS

Dividiram-se os resultados da Seção (Modelagem Matemática) em três partes: na Subseção (Equações dinâmicas não linearizadas), apresentam-se as equações dinâmicas não linearizadas; na Subseção (Equações dinâmicas linearizadas), demonstram-se as equações dinâmicas linearizadas; e na Subseção (Representação no espaço de estados), evidencia-se a representação do modelo matemático na forma de espaço de estados.

Equações dinâmicas não linearizadas

Para representar as equações dinâmicas obtidas, realizaram-se algumas manipulações das equações. Inicialmente, isolou-se a força N_x na Equação (8), da forma:

$$N_x = -m_p\ddot{x}_p - m_p\ddot{x}_r\,. \tag{12}$$

Substituiu-se a Equação (12) na Equação (5).

$$-m_r\ddot{x}_r - m_p\ddot{x}_p - m_p\ddot{x}_r - F = 0 \tag{13}$$

assim,

$$\ddot{x}_r = \frac{m_p\ddot{x}_p + F}{-m_p - m_r}. \tag{14}$$

Como a forca F é desconhecida, pode-se utilizar a Equação (4) para obtê-la, isolou-se a força do seguinte modo:

$$\ddot{x}_r = \frac{m_p\ddot{x}_p + \left(\frac{J_r\ddot{\theta}_r - T_m}{r}\right)}{-m_p - m_r}. \tag{15}$$

A partir da força F, substituiu-se na Equação (14):

Com o intuito de obter a aceleração no eixo $x\,(\ddot{x}_r)$, se faz necessário eliminar a aceleração angular $\ddot{\theta}_r$. Primeiramente, isolou-se a aceleração angular na Equação (6).

$$\ddot{\theta}_r = \frac{\ddot{x}_r}{r}. \tag{17}$$

Por conseguinte, substituiu-se a Equação (17) na Equação (16).

$$\ddot{x}_r = \frac{m_p\ddot{x}_p + \left(\frac{J_r\frac{\ddot{x}_r}{r} - T_m}{r}\right)}{-m_p - m_r}. \tag{18}$$

Ainda,

$$\ddot{x}_r = \frac{m_p\ddot{x}_p + r^2 - T_m r}{(-m_p - m_r)r^2 - J_r}. \tag{19}$$

Com $\ddot{x}_p$ apresentado na Equação (11), substituiu-se na Equação (19),

$$\ddot{x}_r = \frac{m_p(-l\,\ddot{\theta}_p\,cos\theta_p + l\dot{\theta}_p^2 sen\theta_p) + r^2 - T_m r}{(-m_p - m_r)r^2 - J_r}. \tag{20}$$

Ao substituir $\ddot{x}_p$ na Equação (7), obteve-se.

$$J_p\ddot{\theta}_p = T_m + m_p g l\,sen\,\theta_p + m_p\left(\frac{m_p(-l\,\ddot{\theta}_p\,cos\theta_p + l\dot{\theta}_p^2 sen\theta_p) + r^2 - T_m r}{(-m_p - m_r)r^2 - J_r}\right) l\,cos\,\theta_p. \tag{21}$$

Reescreveu-se a Equação (21):

$$\ddot{\theta}_p = \frac{\Gamma_1 + \Gamma_2 + \Gamma_3}{\Delta_1}, \tag{22}$$

sendo,

$$\Gamma_1 = T_m\left[\left((-m_p - m_r)r^2 - J_r\right) - m_p r l \cos\theta_p\right] \tag{23}$$

$$\Gamma_2 = m_p g l \, sen\,\theta_p \left((-m_p - m_r)r^2 - J_r\right) \tag{24}$$

$$\Gamma_3 = m_p^2 r^2 l^2 \dot{\theta}_p^2 \, sen\,\theta_p \cos\theta_p \tag{25}$$

$$\Delta_1 = \left(J_p\left((-m_p - m_r)r^2 - J_r\right)\right) + m_p^2 r^2 l^2 \cos^2\theta_p \tag{26}$$

Substitui-se a Equação (6) na Equação (26), a fim de obter a primeira equação não linear do modelo que se refere a aceleração angular do pêndulo.

$$\ddot{\theta}_p = \frac{\Gamma_4 + \Gamma_5 + \Gamma_6 + \Gamma_7 + \Gamma_8}{\Delta_2}, \tag{27}$$

em que

$$\Gamma_4 = \left(-m_p r l \cos\theta_p \frac{k}{R_a} - m_r r^2 \frac{k}{R_a} + J_r \frac{k}{R_a} - m_p r^2 \cos\theta_p \frac{k}{R_a}\right) U \tag{28}$$

$$\Gamma_5 = \left(-m_p r l \cos\theta_p \frac{k^2}{R_a} - m_r r^2 \frac{k^2}{R_a} + J_r \frac{k^2}{R_a} - m_p r^2 \cos\theta_p \frac{k^2}{R_a}\right) \dot{\theta}_r \tag{29}$$

$$\Gamma_6 = \left(-m_p r l \cos\theta_p L_a \frac{k}{R_a} - m_r r^2 L_a \frac{k}{R_a} + J_r L_a \frac{k}{R_a} - m_p r^2 \cos\theta_p L_a \frac{k}{R_a}\right) \frac{dI_a}{dt} \tag{30}$$

$$\Gamma_7 = m_p g l \, sen\,\theta_p \left(-m_p r^2 - m_r r^2 + J_r\right) \tag{31}$$

$$\Gamma_8 = m_p^2 r^2 l^2 \dot{\theta}_p^2 \, sen\,\theta_p \cos\theta_p \tag{32}$$

$$\Delta_2 = J_p\left(-m_p r^2 - m_r r^2 + J_r\right) + m_p^2 r^2 l^2 \cos^2\theta_p \tag{33}$$

C

Com a primeira equação não linear, Equação (27), que descreve a aceleração angular do pêndulo, faz-se necessário encontrar a segunda equação não linear do modelo, correspondente a aceleração angular da roda. Para isto, substituiu-se a Equação (6) na Equação (16).

$$r\ddot{\theta}_r = \frac{m_p \ddot{x}_p + \left(\frac{J_r \ddot{\theta}_r - T_m}{r}\right)}{-m_p - m_r} \tag{34}$$

Ainda,

$$\ddot{\theta}_r = \frac{m_p \ddot{x}_p r - T_m}{r^2\left(-m_p - m_r\right) - J_r}. \tag{35}$$

Substituiu-se $\ddot{x}_p$ da Equação (6) na Equação (35), assim:

$$\ddot{\theta}_r = \frac{m_p\left(-l\,\ddot{\theta}_p \cos\theta_p + l\dot{\theta}_p^2 sen\theta_p\right) r + T_m}{r^2\left(-m_p - m_r\right) - J_r}. \tag{36}$$

Isolou-se $\ddot{\theta}_p$ na Equação (07) e substituiu-se na Equação (36).

$$\ddot{\theta}_r = \frac{m_p\left(-l\left(\frac{T_m + m_p g l\, sen\,\theta_p + m_p \ddot{x}_r l \cos\theta_p}{J_p}\right)\cos\theta_p + l\dot{\theta}_p^2 sen\theta_p\right) r + T_m}{r^2(-m_p - m_r) - J_r} \quad (37)$$

Por fim, substituiu-se a equação de torque do motor Equação (3) na Equação (37) e organizou-se a equação obtida, a fim de obter a última equação dinâmica não linear

$$\ddot{\theta}_r = \frac{-\Gamma_9 - \Gamma_{10}}{\Delta_3} \quad (38)$$

sendo,

$$\Gamma_9 = (m_p r l k cos\theta_p + J_p k)U + (m_p r l k^2 cos\theta_p + J_p k^2)\dot{\theta}_r + (m_p r l k L_a cos\theta_p + J_p k L_a)\frac{dI_a}{dt} \quad (39)$$

$$\Gamma_{10} = R_a m_p^2 g r l^2 sen\theta_p cos\theta_p - R_a m_p J_p r l \dot{\theta}_p^2 sen\theta_p \quad (40)$$

$$\Delta_3 = R_a\left((J_p r^2(-m_p - m_r) - J_p J_r) + m_p^2 r^2 l^2 cos^2\theta_p\right) \quad (41)$$

Por fim, isolou-se $\frac{dI_a}{dt}$ na Equação (1) e substituiu-se na Equação (30) e na Equação (39) para eliminar a derivada. Assim, $\ddot{\theta}_p$ passa a ser:

$$\ddot{\theta}_p = \frac{\Gamma_{11} + \Gamma_{12} + \Gamma_{13} + \Gamma_{14} + \Gamma_{15}}{\Delta_4}, \quad (42)$$

sendo,

$$\Gamma_{11} = \left(-m_p r l cos\theta_p \frac{k}{R_a} - m_r r^2 \frac{k}{R_a} + J_r \frac{k}{R_a} - m_p r^2 cos\theta_p \frac{k}{R_a}\right)U \quad (43)$$

$$\Gamma_{12} = \left(-m_p r l cos\theta_p \frac{k^2}{R_a} - m_r r^2 \frac{k^2}{R_a} + J_r \frac{k^2}{R_a} - m_p r^2 cos\theta_p \frac{k^2}{R_a}\right)\dot{\theta}_r \quad (44)$$

$$\Gamma_{13} = \left(-m_p r l cos\theta_p L_a \frac{k}{R_a} - m_r r^2 L_a \frac{k}{R_a} + J_r L_a \frac{k}{R_a} - m_p r^2 cos\theta_p L_a \frac{k}{R_a}\right)\left(\frac{U + R_a I_a + k\dot{\theta}}{L_a}\right) \quad (45)$$

$$\Gamma_{14} = m_p g l\, sen\,\theta_p\left(-m_p r^2 - m_r r^2 + J_r\right) \quad (46)$$

$$\Gamma_{15} = m_p^2 r^2 l^2 \dot{\theta}_p^2\, sen\,\theta_p \cos\theta_p \quad (47)$$

$$\Delta_4 = J_p(-m_p r^2 - m_r r^2 + J_r) + m_p^2 r^2 l^2 cos^2\theta_p \quad (48)$$

E $\ddot{\theta}_r$ passa a ser:

$$\ddot{\theta}_r = \frac{-\Gamma_{16} - \Gamma_{17}}{\Delta_5} \quad (49)$$

sendo,

$$\Gamma_{16} = (m_p r l k cos\theta_p + J_p k)U + (m_p r l k^2 cos\theta_p + J_p k^2)\dot{\theta}_r + (m_p r l k L_a cos\theta_p + J_p k L_a)\frac{dI_a}{dt} \quad (50)$$

$$\Gamma_{17} = R_a m_p^2 g r l^2 sen\theta_p cos\theta_p - R_a m_p J_p r l \dot{\theta}_p^2 sen\theta_p \quad (51)$$

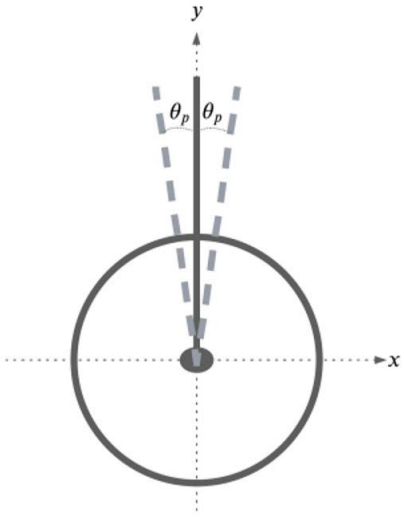
$$\Delta_5 = R_a\left((J_p r^2(-m_p - m_r) - J_p J_r) + m_p^2 r^2 l^2 cos^2\theta_p\right) \quad (52)$$

Equações dinâmicas linearizadas

Como se trata de um problema não linear, pode-se linearizar as equações através do ponto no qual se objetiva manter em equilíbrio, que no caso do pêndulo invertido é na

vertical, com pequenas variações em torno deste ponto (Figura 5). Assim, pode-se assumir que $cos\theta \approx 1$, $sen\theta \approx 0$ e $\theta\dot{\theta} \approx 0$ [63].

Figura 5 - Ponto de operação do Pêndulo Invertido.



Fonte: [4].

Portanto, a Equação (53) e a Equação (58) representam as equações linearizadas do modelo.

$$\ddot{\theta}_p = \frac{\Gamma_{18} + \Gamma_{19} + \Gamma_{20}}{\Delta_6}, \tag{53}$$

sendo,

$$\Gamma_{18} = \left(-2m_p rl\frac{k}{R_a} - 2m_r r^2\frac{k}{R_a} + 2J_r\frac{k}{R_a} - 2m_p r^2\frac{k}{R_a}\right)U \tag{54}$$

$$\Gamma_{19} = \left(m_p rlk + m_r r^2 k - J_r k + m_p r^2 k\right)I_a \tag{55}$$

$$\Gamma_{20} = \left(-m_p^2 r^2 gl + m_r r^2 m_p gl + J_r m_p gl\right)\dot{\theta}_r \tag{56}$$

$$\Delta_6 = J_p\left(-m_p r^2 - m_r r^2 + J_r\right) + m_p^2 r^2 l^2 \tag{57}$$

Por fim,

$$\ddot{\theta}_r = \frac{-\left(2m_p rlk + 2J_p k\right)U - \left(-m_p rlkR_a - J_p kR_a\right)I_a - \left(m_p^2 rgl^2 R_a\right)\theta_p}{R_a\left(J_p\left(-m_p r^2 - m_r r^2 + J_r\right) + m_p^2 r^2 l^2\right)} \tag{58}$$

Representação no espaço de estados

Para a representação no espaço de estados, assim definiu-se x com o vetor das variáveis de estado, a partir das Equações (53) e (58). Vale ressaltar que a variável θ_r não foi utilizada devido não haver dependência dela em outras variáveis, então a matriz o espaço de estados implica em somente quatro variáveis de estado.

$$x = \begin{bmatrix} \theta_p \\ \dot{\theta}_p \\ \dot{\theta}_r \\ I_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} \tag{59}$$

A matriz de espaço de estados e dada por:

$$\dot{x} = Ax + Bu \tag{60}$$

$$y = Cx + Du \tag{61}$$

Então:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & a_{2,2} & 0 & a_{2,4} \\ a_{3,1} & 0 & 0 & a_{3,4} \\ 0 & 0 & -\frac{k}{L_a} & -\frac{R_a}{L_a} \end{bmatrix} \tag{62}$$

com,

$$a_{2,2} = \frac{-m_p^2 r^2 gl - m_r r^2 m_p gl + J_r m_p gl}{J_p(-m_p r^2 - m_r r^2 + J_r) + m_p^2 r^2 l^2} \tag{63}$$

$$a_{2,4} = \frac{m_p rlk + m_r r^2 k - J_r k + m_p r^2 k}{J_p(-m_p r^2 - m_r r^2 + J_r) + m_p^2 r^2 l^2} \tag{64}$$

$$a_{3,1} = \frac{-R_a m_p^2 r g l^2}{R_a(J_p(-m_p r^2 - m_r r^2 - J_r) + m_p^2 r^2 l^2)} \tag{65}$$

$$a_{2,4} = \frac{m_p rlk R_a + J_r k R_a}{R_a(J_p(-m_p r^2 - m_r r^2 - J_r) + m_p^2 r^2 l^2)} \tag{66}$$

A matiz B :

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ b_{2,1} \\ b_{3,1} \\ \frac{1}{L_a} \end{bmatrix} \tag{67}$$

com,

$$b_{2,1} = \frac{-2m_p rl\frac{k}{R_a} - 2m_r r^2 U\frac{k}{R_a} + 2J_r\frac{k}{R_a} - 2m_p r^2\frac{k}{R_a}}{J_p(-m_p r^2 - m_r r^2 + J_r) + m_p^2 r^2 l^2} \tag{68}$$

$$b_{3,1} = \frac{-(2m_p rlkU + 2J_p k)}{R_a(J_p(-m_p r^2 - m_r r^2 + J_r) + m_p^2 r^2 l^2)} \tag{69}$$

Por fim, as matrizes de saída visando-se o ângulo θ_p:

$$y = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} + [0]u \tag{70}$$

ANÁLISE DE ESTABILIDADE

Para a análise de estabilidade, utilizaram-se os valores apresentados na Tabela 2, os quais refere-se ao protótipo físico real.

Tabela 2 - Parâmetros típicos.

Parâmetro	Valor	Unidade
g	9,098	m/s²
k	3,2283	V/rad/s
L_a	6,95	mH
J_p	0,3788	kgm²
J_r	$5{,}6644 \cdot 10^{-6}$	kgm²
m_p	0,698	kg
m_r	0,098	kg
l	0,45	m
r	0,034	m
R_a	4,348	Ω
U	10	V

Fonte: [4].

Através da representação no espaço de estados, Equação (60) e Equação (61), torna-se possível obter a transcrição para Função de Transferência com a equação abaixo [4]:

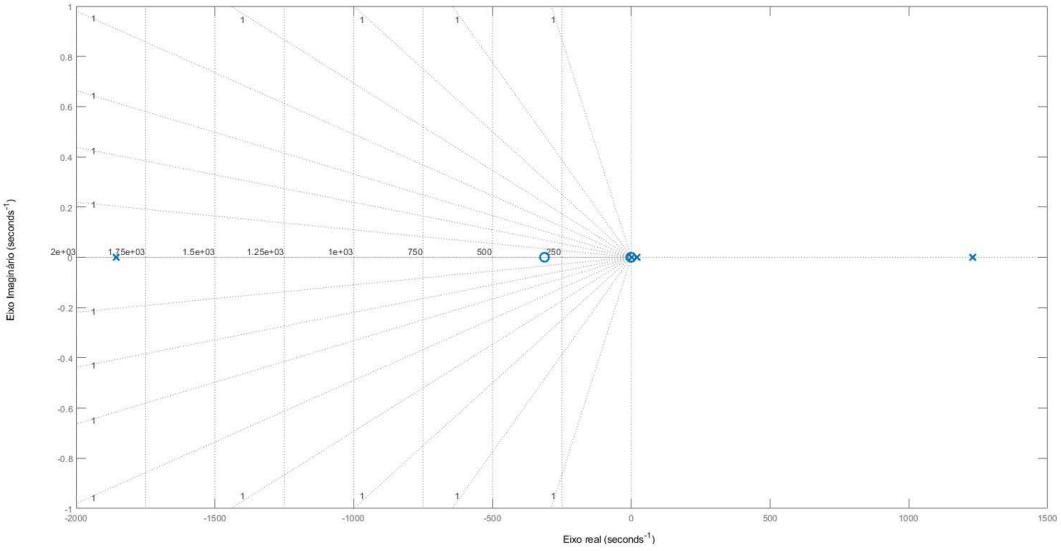
$$G = C(sI - A)^{-1}\mathrm{B} + \mathrm{D} \tag{71}$$

assim, obteve-se a função de transferência referente ao protótipo.

$$\frac{\theta_p}{U} = G = \frac{134{,}7s^2 + 4{,}214 \cdot 10^4 s + 9{,}125 \cdot 10^{-8}}{s^4 + 604{,}7s^3 - 2{,}295 \cdot 10^6 s^2 + 4{,}77 \cdot 10^7 s - 1{,}748 \cdot 10^7} \frac{[\mathrm{rad}]}{[\mathrm{Volts}]} \tag{72}$$

Utilizou-se o comando *PZMAP do software MATLAB* na Equação (61) e obteve-se o esboço do diagrama de polos e zeros do sistema linear em malha aberta, apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Polos e zeros.



Fonte: [4].

Na qual, "X" representa os polos, $p_1 = -1{,}8555 \cdot 10^3$, $p_2 = 1{,}2299 \cdot 10^3$, $p_3 = 2{,}0528 \cdot 10^1$ e $p_4 = 3{,}732 \cdot 10^{-1}$, e "O" os zeros da função de transferência, $z_1 = -3{,}1284 \cdot 10^2$ e $z_2 = -2{,}1654 \cdot 10^{-12}$. Os polos p_2, p_3 e p_4 de malha aberta estão localizados no semiplano direito, isso confirma que o sistema é instável e requer controle em malha fechada para estabilizá-lo em relação ao seu valor de referência, ou seja, para manter o pêndulo na posição vertical.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, este trabalho abordou a modelagem e a análise de estabilidade de um drone terrestre de duas rodas com acionamento diferencial, a partir do princípio do pêndulo invertido, o qual explora as principais variáveis e equações dinâmicas envolvidas na modelagem dinâmica do protótipo físico real. Ao longo deste estudo, observou-se a partir da representação no espaço de estados, a possibilidade de analisar o comportamento de todas as variáveis de estado do sistema, sendo essas mensuráveis ou não. Para sistemas, em que nem todas as variáveis podem ser diretamente mensuráveis por sensores, existe a abordagem de estimadores de estados. Essa abordagem permite inferir o estado do sistema com base no modelo e nas informações disponíveis, isso potencializa a análise e o controle de sistemas dinâmicos complexos.

Por fim, ao considerar o princípio intrinsecamente instável do pêndulo invertido, evidenciado pelo esboço do diagrama de polos e zeros, surge a necessidade de aplicar um controle em malha fechada para estabilizá-lo. Para isso, podem ser empregadas diversas abordagens com base no modelo identificado, abrangendo tanto as técnicas de controle moderno quanto as técnicas de controle clássico.

REFERÊNCIAS

[1] SLOTINE, J. E.; LI, W. **Applied Nonlinear Control**. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, 1991. ISBN 0130408905.

[2] NAGRATH, I.; GOPAL, M. **Control Systems Engineering**. 4th [S.l.]: New Age International (p) Ltd., 2006. ISBN 8122417752.

[3] FERREIRA, Leandro Amaro; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. **Simulação, Projeto e Desenvolvimento de um Drone Terrestre de Duas Rodas para Inspeção Territorial: estudo de caso**. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena (PR) UTFPR Santa Helena, 2022.

[4] FERREIRA, Leandro Amaro. **Modelagem de um Drone Terrestre de Duas Rodas e Simulação do Sistema de Controle: estudo de caso**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

[5] SEIFERT, Nicholas; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem Dinâmica de Circuito Elétrico Passivo no Domínio do Tempo Contínuo e Análise por meio dos Softwares Matlab® e Multisim®**. In: BARBOSA, F.C.. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. p.211-239. ISBN 9786553674240.

[6] SILVA, Victor Augusto da; PONTIM, Flavia Macedo; OLIVEIRA, João Matheus Simm de; OLIVEIRA, Luan; ROSSINI, Flávio Luiz. **Aplicação da Transformada de Laplace para a Modelagem a Análise de um Circuito RLC de Três Malhas**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[7] DONDA, Rafael Angelini; VIGLUS, Francisco José; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem Matemática, Simulação e Validação Experimental de um Conversor CC-CC Buck Síncrono**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[8] ANDRADE, Patrícia de Azevedo; SILVA, Luiz Eduardo da Cruz; ROSSINI, Flávio Luiz. **Análise de Circuito Elétrico RLC de Três Malhas via Transformada de Laplace com Softwares Matlab® e LTspice®**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[9] SEIFERT, Nicholas; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem no Domínio do Tempo e Solução no Domínio da Frequência de Circuito Passivo Chaveado de Três Malhas**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[10] SANTOS, Otávio Amaro de Paula dos; BEZERRA, Matheus dos Santos; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem no Domínio do Tempo, Solução via Transformada de Laplace e Análise das Formas de Onda de Circuito Elétrico RLC Chaveado**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[12] MARAN, Matheus Eduardo dos Santos; PRADELA, Walter Gabriel Lopes; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem no Domínio do Tempo, Discretização com Segurador de Ordem Zero e Simulação Computacional de um Circuito Passivo**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[13] FIGUEIREDO, Gustavo; SOUZA, Julio Cesar de; OLIVEIRA, Pedro Henrique Molina; ROSSINI, Flávio Luiz. **Solução e Análise das Formas de Onda de Sistema Linear, Discreto e Invariante no Tempo**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[14] LUZ, Ezequiel de Carvalho; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem, Solução e Análise de Circuito RLC Paralelo via Transformada de Laplace e uso dos Softwares Matlab® e LTspice®**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[15] SILVA, Victor Augusto da; OLIVEIRA, Luan; SEIFERT, Nicholas; OLIVEIRA, João Matheus Simm de; PONTIM, Flavia Macedo; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem no Domínio do Tempo e Aplicação da Transformada de Laplace na Solução e Análise de um Circuitos RLC com Três Malhas**. In: FONTGALLAND, I.L.. Cidades inteligentes e novos modelos industriais. 2. ed. Campina Grande: Amplla Editora, 2023. p. 62-84. ISBN 9786553811324. Disponível em: https://doi.org/10.51859/amplla.cin3224-5. Acesso em: 4 dez. 2023.

[16] SANTOS, Otávio Amaro de Paula dos; BEZERRA, Matheus dos Santos; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem no Domínio do Tempo, Solução via Transformada de Laplace e Análise das Formas de Onda de Circuito Elétrico RLC Chaveado**. In: BARBOSA, F.C. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. 15ª ed. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. p. 89-114. ISBN 9786553673731. Disponível em: https://doi.org/10.37423/230808076. Acesso em: 4 dez. 2023.

[17] ROSSINI, Flávio Luiz; SILVA JUNIOR, Paulo Roberto Machado; ALCANTARA, Carlos Vinicius Boduar de. **Modelagem Dinâmica e Simulação do Sistema de Controle Não Linear do Robô Manipulador SCARA RH-3FRHR35 com Fixação Superior, Fabricante Mitsubishi**. In: BARBOSA, F.C. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. 17ª ED. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. p. 173-194. ISBN 9786553674240. Disponível em: https://doi.org/10.37423/231208504. Acesso em: 1 fev. 2024.

[18] BARROZO, Yuri Ruzzene; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem Matemática e Lei de Controle para o Robô Manipulador Puma 560**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[19] BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; GARCIA, Lucas Ricken; CUNHA, Marcio Rodrigues da; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem e Simulação da Cinemática Direta de um Robô Móvel de Três Rodas com Tração Diferencial**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[20] SILVA JUNIOR, Paulo Roberto Machado; ALCANTARA, Carlos Vinicius Boduar de; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem Cinemática e Simulação do Robô Manipulador SCARA RH-3FRHR35 com Fixação Superior, Fabricante Mitsubishi**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[21] REZENDE, Luiz Gustavo; ROSSINI, Flávio Luiz. **Simulação da Cinemática Inversa de um Robô SCARA através da Implementação de Algoritmos por Métodos Numéricos**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[22] TAKANO, Gabriele Vilas Boas Takano; TANK, Jonatas Silva; SILVA, Luana Aparecida Santos da; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem e Simulação da Cinemática Direta do Multifuncional T3-401S Synthis Robô SCARA, Fabricante Epson**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[23] LIMA, Bruno Suracci de; ROSSINI, Flávio Luiz. **Proposta de modelagem da cinemática, implementação computacional da cinemática inversa quanto a posição e orientação de robô manipulador 6-DOF**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[24] ROSSINI, Flávio Luiz; ABREU, Leonardo de Melo; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. **Modelagem Cinemática, Planejamento e Geração de Trajetória para um Robô Modelo SCARA através de Aplicativo para Análise Gráfica**. In: SOARES, A.M.. Tópicos especiais em engenharia: inovações e avanços tecnológicos, 7. Ponta Grossa: AYA Editora, 2023. p. 43-58. ISBN 9786553792999. Disponível em: https://doi.org/10.47573/aya.5379.2.211.4. Acesso em: 13 set. 2023.

[25] ROSSINI, Flávio Luiz; LIMA, Bruno Suracci de; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Periçaro; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. **Modeling, Simulation, Motion Trajectory Planning and Nonlinear Control in the Joint Space of the Manipulator Robot SCARA T3 401SS Manufacturer Epson**. Seven Editora, *[S. l.]*, 2023. Disponível em: https://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/1092. Acesso em: 21 mar. 2024.

[26] ABREU, Leonardo De Melo; ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. **Modelagem cinemática de um robô modelo SCARA e desenvolvimento de aplicativo para análise gráfica**. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, 2022, UTFPR Santa Helena. Anais do XII Seminário

de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Recife, Brasil: Even3, 2022.

[27] SOUZA, Eber Delgado de; ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. **Desenvolvimento de um Aplicativo no Ambiente App Designer do Software Matlab® para Planejamento de Trajetória do Robô Puma 560**. In: FREITAS, L.C.. Engenharia elétrica e de computação: docência, pesquisa e inovação tecnológica. Ponta Grossa: Atena, 2023. p. 87-109. ISBN 9786525809465. Disponível em: https://doi.org/10.22533/at.ed.4652316018. Acesso em: 13 set. 2023.

[28] ROSSINI, Flávio Luiz; LOPES, João Marcos Periçaro; ABREU, Leonardo de Melo; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de. **Modelagem, Simulação e Controle de Trajetória do Robô Manipulador SCARA SR-6 IA através de um Aplicativo Matlab®**. In: PERBICHE, J.P.. Ciências exatas estudos e desafios. São José dos Pinhais: Editora Brazilian Journals, 2022. p. 248-278. ISBN 9786581028824. Disponível em: https://doi.org/10.35587/brj.ed.0001995. Acesso em: 13 set. 2023.

[29] OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de; ROSSINI, Flávio Luiz; SILVA, Manuel Fernando; MOREIRA, Antonio Paulo. **Modeling, Simulation and Implementation of Locomotion Patterns for Hexapod Robots**. In: 2020 IEEE Congresso Bienal de Argentina (ARGENCON), Resistencia, Argentina, 2020, p. 1-1. Disponível em: https://doi.org/10.1109/argencon49523.2020.9505570. Acesso em: 13 set. 2023.

[30] OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto; ROSSINI, Flavio Luiz. **Modeling, Simulation and Analysis of Locomotion Patterns for Hexapod Robots**. IEEE Latin America Transactions, v. 16, n. 2, p. 375-383, fev. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1109/tla.2018.8327389. Acesso em: 13 set. 2023.

[31] LIMA, Bruno Suracci de; ROSSINI, Flávio Luiz; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Periçaro; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. **Modelagem, Simulação e Análise de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS Fabricante EPSON**. In: DALLAMUTA, J; HOLZMANN, H. A. Engenharia elétrica: Sistemas de energia elétrica e telecomunicações. Ponta Grossa: Atena Editora, 2022. p. 108-125.

[32] ROSSINI, Flávio Luiz; LIMA, Bruno Suracci de; CORRÊA, João Henrique Dias; LOPES, João Marcos Periçaro; BARBOSA, Reginaldo Ferreira de Sousa; BARROZO, Yuri Ruzzene. **Modelagem, Simulação, Planejamento de Trajetória e Controle Não Linear no Espaço de Juntas de Movimento do Robô Manipulador SCARA T3 401SS - Epson**. In: BARBOSA, F. C. Engenharia: a máquina que constrói o futuro. 13ª edição. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. ISBN 9786553673106.

[33] SANCHES, Hugo Eduardo; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem e Controlador um Manipulador Robótico**. Journal of Exact Sciences - JES, v. 9, n. 1, p. 5-13, 8 abr. 2016.

[34] CHICHANOSKI, Gustavo; MUNARINI, Bruno Lucas; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem da Cinemática Direta do Robô Manipulador RV-2AJ de 6 Graus de Liberdade da Industrial Robot Mitsubishi - estudo de caso**. In: XX Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Campo Mourão, 2015.

[35] MARTINES, Francine; MELO, Larissa; CHICHANOSKI, Gustavo; MUNARINI, Bruno; ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem Matemática da Cinemática Direta do Robô Manipulador SCARA Modelo G-10/G-20**. In: V Ciclo de Palestras: Perspectivas Matemáticas - V CIPEM. Campo Mourão, 2015.

[36] ROSSINI, Flávio Luiz. **Modelagem Matemática da Dinâmica do Robô Manipulador RC 180, Empresa EPSON, via Formulação Lagrangiana**. II Simpósio De Tecnologia e Engenharia Eletrônica - II SIMTEEL. Campo Mourão, 2014

[37] SILVA, Leonardo Gomes da; CAUN, Rodrigo da Ponte; NUNES, Willian Ricardo Bispo Murbak; ALMEIDA, Thales Eugenio Portes de; ROSSINI, Flávio Luiz. **Projeto e Implementação de um Sistema de Controle Robusto com um Grau de liberdade**. In: Anais do XIII Seminário de Extensão e Inovação & XXVIII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR, Ponta Grossa, 2023.

[38] CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. **Projeto e Análise de Desempenho de Algoritmos de Estimação Paramétrica Aplicados ao Controle Adaptativo por Modelo de Referência**. In: SOARES, A. M. Tópicos Especiais em Engenharia: inovações e avanços tecnológicos 6. Ponta Grossa: AYA Editora, 2023. p. 42-54. ISBN 9786553792555.

[39] COLDEBELLA, Henrique; ROSSINI, Flávio Luiz. **Design and Simulation of a Model Reference Adaptive Control System Using the Recursive Least Squares Method with Forgetting Factor for Gain Adjustment**. Seven Editora, *[S. l.]*, 2023. Disponível em: http://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/1380. Acesso em: 26 mar. 2024.

[40] CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. **Design, Simulation and Performance Analysis of Parametric Estimation Algorithms Applied to Model Reference Adaptive Control**. Seven Editora, *[S. l.]*, 2023. Disponível em: http://sevenpublicacoes.com.br/index.php/editora/article/view/1091. Acesso em: 26 mar. 2024.

[41] COLDEBELLA, Henrique; ROSSINI, Flávio Luiz. **Desenvolvimento e Implementação do Método dos MQR-FE Acoplado a um Sistema de CAMR**. In: BARBOSA, F. C.. Engenharia de Controle e Automação: estudos fundamentais. Piracanjuba: Editora Conhecimento Livre, 2023. ISBN 9786553672604.

[42] DONDA, Rafael Angelini; ROSSINI, Flávio Luiz. **Projeto, Simulação e Análise de um Sistema de Controle por Modo Deslizante Aplicado ao Conversor CC-CC Buck: estudo de caso**. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena (PR) UTFPR Santa Helena, 2022.

[43] CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. **Comparação entre Estimadores Paramétricos Aplicados ao Controle Adaptativo por Modelo de Referência**. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena (PR) UTFPR Santa Helena, 2022.

[44] COLDEBELLA, Henrique; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. **Comparação entre Algoritmos de Adaptação Paramétrica aplicados ao Projeto de Controlador Adaptativo por Modelo de Referência**. In: Anais do XII Seminário de Extensão e Inovação & XXVII Seminário de Iniciação Científica e Tecnológica da UTFPR. Anais...Santa Helena (PR) UTFPR Santa Helena, 2022.

[45] COLDEBELLA, Henrique; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. **Análise de algoritmos de estimação paramétrica aplicados ao projeto de controlador adaptativo por modelo de referência**. In: DALLAMUTA, J.; HOLZMANN, H. A. Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2. Ponta Grossa: Atena, 2022. p. 47-58. ISBN 9786525807270.

[46] CANHAN, Diego Carrião; BROLIN, Leandro Castilho; ROSSINI, Flávio Luiz. **Aplicação do método do gradiente e do método dos mínimos quadrados recursivo para análise de desempenho do controle adaptativo por modelo de referência**. In: DALLAMUTA, J.; HOLZMANN, H. A. Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2. Ponta Grossa: Atena, 2022. p. 91-100. ISBN 9786525807270.

[47] DONDA, Rafael Angelini; ROSSINI, Flávio Luiz. **Projeto, simulação e análise de um sistema de controle por modo deslizante aplicado ao conversor cc-cc buck: estudo de caso**. In: DALLAMUTA, J.; HOLZMANN, H. A. Engenharia elétrica: sistemas de energia elétrica e telecomunicações 2. Ponta Grossa: Atena, 2022. p. 14-24. ISBN 9786525807270.

[48] ROSSINI, Flávio Luiz; OLIVEIRA, Luiz Fernando Pinto de; GIESBRECHT, Mateus. **Identificação recursiva de sistemas dinâmicos contínuos variantes no tempo através do filtro de kalman estendido e da filtragem de variáveis de estado pelo método dos mínimos quadrados recursivos**. In: AYOUB, J. P.; OLIVEIRA, M. R. N. Desvendando a Engenharia: sua abrangência e multidisciplinaridade - Volume 2. Guarujá: Científica Digital, 2021. p. 284-302. ISBN 978-65-89826-80-4. Disponível em: https://doi.org/10.37885/210404090. Acesso em: 13 set. 2023.

[49] ROSSINI, Flávio Luiz. **Métodos de Filtragem, Estimação e Controle Adaptativo Indireto Aplicados a Sistemas de Teleoperação Bilateral**. pt. PhD thesis. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação – Universidade Estadual de Campinas, 2020, p. 92. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_a4357c8ea5602bb2b5b0d556e8c3a91e. Acesso em: 06 set. 2023.

[50] LUIZ ROSSINI, Flávio; SANTOS MARTINS, Guilherme; PAULO SILVA GONÇALVES, João; GIESBRECHT, Mateus. **Recursive identification of continuous time variant dynamical systems with the extended kalman filter and the recursive least squares state-variable filter**. In: 15TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INFORMATICS IN CONTROL, AUTOMATION AND ROBOTICS, 2018, Porto, Portugal. 15th international conference on informatics in control, automation and robotics. [S. l.]: SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2018. ISBN 9789897583216. Disponível em: https://doi.org/10.5220/0006865504680475. Acesso em: 13 set. 2023.

[51] ROSSINI, Flávio Luiz; GIESBRECHT, Mateus. **Identificação recursiva de sistemas dinâmicos contínuos variantes no tempo através do filtro de kalman estendido e da filtragem de variáveis de estado pelo método dos mínimos quadrados recursivos**. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE AUTOMÁTICA, 2018, João Pessoa, Paraíba, Brasil. XXII Congresso Brasileiro de Automática. Joao Pessoa, Paraíba, Brasil: SBA Sociedade Brasileira de Automática, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.20906/cps/cba2018-0169. Acesso em: 13 set. 2023.

[52] ROSSINI, Flávio Luiz; GAINO, Ruberlei; TEIXEIRA, Marcelo Carvalho Minhoto; ASSUNÇÃO, Edvaldo; CARDIM, Rodrigo; COVACIC, Marcio Roberto. **Robust Controller Design of a Wheelchair Mobile via LMI Approach to ERP Systems with Feedback Output**. IEEE Latin America Transactions, v. 13, n. 5, p. 1321-1330, maio 2015. Disponível em: https://doi.org/10.1109/tla.2015.7111985. Acesso em: 14 mar. 2024.

[53] ROSSINI, Flávio Luiz. **Projeto de Controlador Robusto Aplicado a PRM via LMIs para Sistemas ERPs. In: I Simpósio de Tecnologia e Engenharia Eletrônica** - I SIMTEEL. Campo Mourão, 2013.

[54] SANTOS, Nilson Moutinho dos; ROSSINI, Flávio Luiz; COVACIC, Márcio Roberto; GAINO, Ruberlei. **Controle Robusto de Veículo sobre Plataforma com Rodas e Tração Diferencial Utilizando LMIS**. In: XI Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente - SBAI 2013. Fortaleza, 2013.

[55] ROSSINI, Flávio Luiz. **Projeto de controlador robusto aplicado à cadeira de rodas móveis via abordagem por LMIS**. 2013. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, [s. l.], 2013. Disponível em: http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000184710. Acesso em: 13 fev. 2024.

[56] ROSSINI, Flávio Luiz; SANTOS, Nilson Moutinho dos; GAINO, Ruberlei; COVACIC, Márcio Roberto. **Projeto de Controlador Robusto Aplicado à Cadeira de Rodas Móveis via Abordagem por LMIs**. In: Anais do XIX Congresso Brasileiro de Automática 2012, Campina Grande, pp. 2966-2972, 2012.

[57] GOLNARAGHI, F.; KUO, B. C. **Sistemas de Controle Automático**, 9ª ed. [S.l.]: LTC, 2012. ISBN 9788521606727.

[58] PEREIRA, M. C. **Controle da posição de um pêndulo planar usando rodas de reação**. 2011. 53 p. Tese (Doutorado) — Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

[59] KHALIL, H. K. **Nonlinear Systellls**: 3th edition. [S.l.]: Prentice Hall, 2002. ISBN 0130673897.

[60] SUNDIN, C.; THORSTENSSON, F. **Autonomous balancing robot**. 2012. 76 p. Dissertação (Mestrado) — CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Gotemburgo, 2012.

[61] NISE, N.S. **Engenharia de sistemas de controle**, 6ª ed. [S.l.]: LTC, 2013. ISBN 9788521621362.

[62] HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALTER,J. **Fundamentos de física**, 15ª ed. [S.l.]: LTC, 2023. ISBN 9788521637226.

[63] OGATA, K. **Engenharia de Controle Moderno** - 4.ed. [S.l.]: Pearson Education, 2003. ISBN 9788587918239.

Capítulo

03

Experimentos práticos com inversor de frequência

Practical experiments with frequency inverter

Douglas Morais
Rodrigo dos Santos
Victor Rafael da Silva
Guilherme dos Santos Nascimento
Alexandre Ferreira Marçal

RESUMO

Este trabalho aborda a importância do acionamento de motores elétricos utilizando inversores de frequência tanto no contexto industrial como educacional. Para tal foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre o tema, assim como foram desenvolvidos experimentos práticos sobre o acionamento de motores através de rampas e o controle de velocidade através da variação da frequência. Os experimentos foram aplicados em sala de aula afim de observar possíveis pontos de fragilidade. Após a realização do experimento ele foi validado, portanto podendo ser replicado em outras instituições. De forma geral destaca-se a importância e relevância do tema para a formação técnico/tecnológica.

Palavras-chave: inversor de frequência; automação industrial; partida de motores.

ABSTRACT

This work addresses the importance of driving electric motors using frequency inverters both in industrial and educational contexts. To this end, bibliographic research on the topic was conducted, and practical experiments on motor starting through ramps and speed control by varying frequency were developed. The experiments were applied in the classroom to observe possible points of weakness. After the experiment was conducted, it was validated, therefore, it can be replicated in other institutions. In general, the importance and relevance of the topic for technical/technological education are highlighted.

Keywords: frequency inverter; industrial automation; motor starting.

INTRODUÇÃO

A eficiência energética tem se tornado uma busca constante na indústria, impulsionando a busca por tecnologias que otimizem o consumo de energia. Nesse contexto, o acionamento de motores elétricos utilizando inversores de frequência surge como uma solução, tanto para aumentar a eficiência dos processos industriais quanto para promover a sustentabilidade ambiental. Além disso, a compreensão e aplicação dessa tecnologia tornaram-se essenciais para profissionais da área de automação industrial, destacando a importância de seu ensino em especial no contexto do ensino técnico/tecnológico, a fim de formar profissionais capacitados para atuares na indústria (Costa, Andrade Jr. 2021).

No âmbito industrial, o uso de inversores de frequência representa uma revolução no controle de motores elétricos, permitindo ajustes precisos da velocidade e torque, reduzindo significativamente o consumo de energia e prolongando a vida útil dos equipamentos. Essa tecnologia oferece diversos modos de operação, como controle de velocidade escalar, controle vetorial e controle de torque, possibilitando adaptações precisas às demandas específicas de cada aplicação. Além disso, inversores de frequência apresentam características como proteção contra sobrecargas, suavização de partida e controle de frenagem regenerativa, tornando-os fundamentais em uma ampla gama de setores industriais e evitando sobrecargas na rede elétrica devido ao acionamento dos motores (Callegaro, 2024).

No contexto do ensino tecnológico, destaca-se o papel do curso superior de tecnologia em automação industrial da Fatec Osasco, que tem como objetivo formar profissionais aptos a atuar na automação e controle de processos industriais. Dentro deste contexto, o estudo dos inversores de frequência desempenha um papel central na formação do tecnólogo em automação, especialmente durante as aulas práticas de laboratório de acionamento de máquinas elétricas. Através dessas práticas, os estudantes têm a oportunidade de adquirir conhecimentos teóricos e habilidades práticas essenciais para a configuração, operação e manutenção de sistemas de acionamento elétrico, preparando-os para enfrentar os desafios do mercado de trabalho na indústria atual e na indústria 4.0. Este artigo visa explorar a importância do acionamento de motores elétricos utilizando inversores de frequência, destacando sua relevância tanto no contexto industrial quanto no ensino tecnológico, com foco especial na formação de tecnólogos em automação industrial. Para tal serão propostos três experimentos práticos que podem ser replicados fortalecendo o conhecimento sobre o tema na etapa de formação do estudante (Lima Filho, 2005).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Automação industrial vs automatização

Atualmente na indústria, os termos “automação industrial” e “automatização” são frequentemente utilizados, porém, possuem significados distintos. Desta forma se faz necessário definir esses conceitos, destacando suas diferenças e semelhanças, bem como discutir suas aplicações e implicações na indústria (Costa; Lisboa; Santos, 2003).

Automação industrial refere-se ao uso de sistemas e tecnologias para controlar processos industriais, substituindo ou auxiliando a intervenção humana em tarefas repetitivas, perigosas ou de alta precisão. Este conceito engloba a aplicação de máquinas, sensores, atuadores e sistemas de controle para executar operações de forma autônoma, visando aumentar a eficiência, a produtividade e a segurança dos processos industriais. A automação industrial pode ser implementada em diversos setores, incluindo manufatura, automotivo, químico, petroquímico, entre outros. Exemplos comuns de sistemas automatizados incluem linhas de produção robotizadas, sistemas de controle de processos por computador (SCADA), e sistemas de automação de fábrica (FMS) (Costa; Lisboa; Santos, 2003).

A automatização, por outro lado refere-se à simplificação ou eliminação de tarefas manuais por meio do uso de dispositivos mecânicos, elétricos ou eletrônicos. Embora a automatização muitas vezes envolva a introdução de sistemas automatizados, seu escopo é mais amplo, incluindo também processos e procedimentos que são simplificados para reduzir a dependência da intervenção humana. A automatização pode ser observada em diversas áreas, desde o acionamento automático de portas e sistemas de iluminação em edifícios até a implementação de dispositivos de segurança em veículos automotivos. Embora a automatização possa não ser tão abrangente quanto a automação industrial, ela desempenha um papel importante na simplificação de tarefas e na melhoria da eficiência em diversos contextos (Costa; Lisboa; Santos, 2003).

Contudo é importante destacar que a automação industrial é um subconjunto da automatização, focado especificamente na aplicação de tecnologias para controlar processos industriais. Enquanto a automatização abrange uma variedade de domínios e pode incluir tanto sistemas industriais quanto não industriais. Ambos os conceitos compartilham o objetivo comum de aumentar a eficiência, a produtividade e a segurança, ao reduzir a dependência da intervenção humana em processos repetitivos ou perigosos. No entanto, a automação industrial tende a ser mais complexa e abrangente, envolvendo a integração de sistemas de controle avançados e tecnologias específicas para atender às necessidades dos processos industriais (Costa; Lisboa; Santos, 2003).

Desta forma, enquanto a automação industrial se concentra na aplicação de sistemas e tecnologias para controlar processos industriais, a automatização é um conceito que engloba a simplificação ou eliminação de tarefas manuais em diversos contextos. Ambos os conceitos desempenham um papel fundamental na transformação da indústria moderna, impulsionando a eficiência, a produtividade e a segurança dos processos industriais e operações em geral.

Inversores de frequência

Os inversores de frequência são essenciais na automação industrial, permitindo o controle preciso da velocidade e torque de motores elétricos. Em sua essência, um inversor de frequência converte a energia elétrica de corrente alternada (CA) em tensão e frequência variáveis, o que possibilita o controle da velocidade de rotação do motor.

Esses equipamentos podem operar em diferentes modos, como o modo V/F (tensão-frequência), que é amplamente utilizado para aplicações de controle de velocidade em motores de indução. Neste modo, a relação entre a tensão e a frequência é mantida

constante para garantir um desempenho estável do motor em diferentes velocidades. Além disso, os inversores de frequência também podem operar no modo de controle vetorial, que permite um controle mais preciso do torque e da velocidade do motor, sendo especialmente útil em aplicações que exigem alta precisão e resposta dinâmica

As aplicações dos inversores de frequência são diversas e abrangem uma ampla gama de setores industriais. Desde sistemas de controle de bombas e ventiladores em HVAC (aquecimento, ventilação e ar-condicionado), até processos de fabricação em indústrias automotivas, alimentícias e de papel e celulose, os inversores de frequência desempenham um papel essencial na otimização de processos, economia de energia e aumento da eficiência operacional. Em especial neste trabalho foi utilizado o inversor de frequência CFW500. Esse inversor é produzido pela WEG, representa um dispositivo de relevância nos sistemas de controle de motores elétricos utilizados em ambientes industriais. Desenvolvido para atender às exigências das mais diversas aplicações industriais, este inversor é concebido com o propósito de proporcionar eficiência energética, precisão no controle e confiabilidade operacional (Callegaro, 2024). Entre as características preeminentes do CFW500, destacam-se (WEG, 2024):

- Controle de Velocidade: O CFW500 capacita a variação da velocidade dos motores elétricos, desempenhando um papel fundamental na otimização de processos industriais, na economia energética e na prolongação da vida útil dos equipamentos.
- Facilidade de Programação: Dotado de uma interface amigável, este inversor facilita a programação e configuração, permitindo ajustes específicos para atender às exigências de distintas aplicações industriais.
- Proteções Avançadas: Incorpora recursos de proteção avançada, tais como proteção contra sobrecarga, curto-circuito e superaquecimento, assegurando a segurança do sistema e a integridade do motor.
- Comunicação: Apresenta integração simplificada com sistemas de automação industrial através de interfaces de comunicação, viabilizando o monitoramento e controle remoto.
- Eficiência Energética: Concebido para otimizar o consumo energético, contribui para a redução dos custos operacionais e a conformidade com padrões ambientais.
- Versatilidade: Adequado para uma vasta gama de aplicações industriais, desde acionamentos simples até sistemas mais complexos que exigem controle preciso de velocidade.
- Confiabilidade: Fabricado com componentes de elevada qualidade e tecnologia avançada, o CFW500 é reconhecido pela sua confiabilidade e durabilidade em ambientes industriais desafiadores

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram propostos três experimentos práticos envolvendo acionamento de motores elétricos trifásicos utilizando o inversor de frequência. Para a elaboração do artigo foi realizada uma revisão da literatura e propostas três aplicações que simulam aplicações industriais.

Proposta 1: Realizar o acionamento e desligamento do motor em rampa.

- Rampa de acionamento: Motor desligado até a velocidade nominal (tempo 4 segundos)
- Rampa de desligamento: Velocidade nominal até o motor parar. (tempo: 8 segundos)

Proposta 2: Realizar o acionamento e desligamento alterando o tempo da rampa.

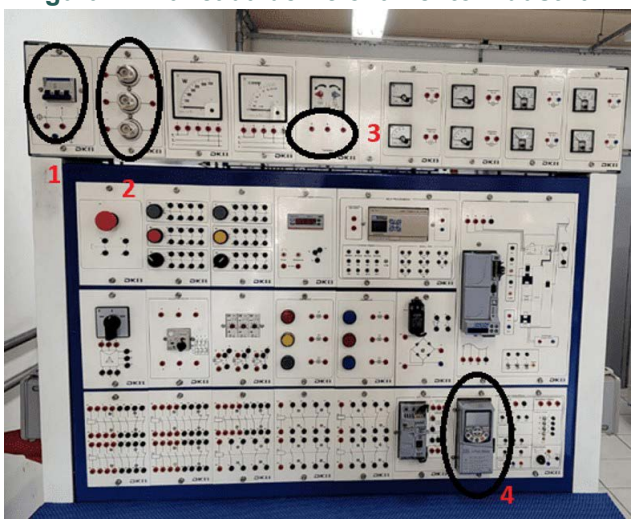
- Rampa de acionamento: Motor desligado até a velocidade nominal (tempo 10 segundos)
- Rampa de desligamento: Velocidade nominal até o motor parar. (tempo: 10 segundos)

Proposta 3: Controlar a velocidade do motor através da alteração da frequência

- (60Hz para 40HZ)

Para a realização do acionamento foi utilizada uma bancada educacional marca DK8 fornecida pela empresa DK8 Tecnologia Educacional Ltda disponível no Laboratório de Máquinas Elétricas II, da Faculdade de Tecnologia de Osasco. A figura 1 mostra uma imagem da bancada utilizada.

Figura 1 - Bancada de Acionamento Industrial.



Fonte: Autores

Dos itens disponíveis na bancada foram utilizados os seguintes componentes:

1. Disjuntores trifasicos são mecanismos de segurança e previnem que aparelhos e equipamentos sejam danificados, cortando a energia no instante antes de

serem atingidos pela sobrecarga elétrica. Disjuntor Tripolar modelo MDW, C20 e 480V.

2. Fusível é um dispositivo de proteção contra sobrecorrente para circuitos elétricos. É constituído por um filamento ou folha de metal ou liga metálica de baixo ponto de fusão, que é colocado em um local específico da instalação elétrica e derrete pelo efeito Joule se a intensidade da corrente for ultrapassada devido a um curto-circuito. ou sobrecarga, determinado valor que pode danificar a integridade do condutor e representar risco de incêndio ou destruição de outros elementos do circuito. Modelo GL-gG 25A, 500V.

3. Fazimento de 100 a 600V.

4. Inversor de frequência CFW500 é um dispositivo utilizado em sistemas de controle de motores elétricos para variar a velocidade de rotação. Fabricado pela WEG, esse inversor é projetado para proporcionar eficiência energética, controle preciso e confiabilidade em diversas aplicações industriais.

Os motores trifásicos são os mais utilizados na indústria devido a diversas vantagens como: Longa vida útil, fácil conexão, fácil controle, entre outros.

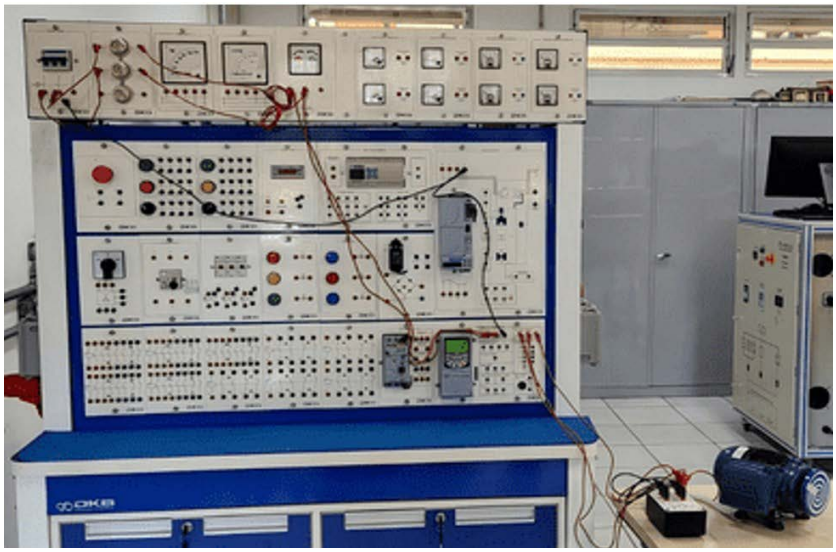
Marca WEG modelo W22Premium. A figura 2 apresenta uma imagem do motor utilizado.

Figura 2 - Motor.

Fonte: Autores

A figura 3 apresenta a imagem da bancada montada antes do início do experimento.

Figura 3



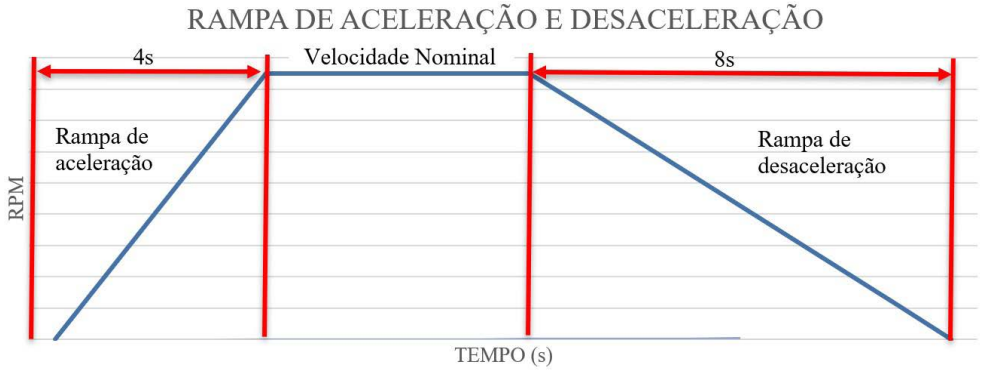
Fonte: Autores

1º Experimento

Parametrização

1. Pressione a tecla menu
2. Escolha o parametro p0204 para restaurar ao padrão de fábrica
3. Escolha o parametro p0100 -> 4 seg -> aceleração
4. Escolha o parametro p0101 -> 8 seg -> desaceleração
5. Escolha o parametro p0133 -> 5hz ->frequência mínima
6. Escolha o parametro p0134 -> 60hz->frequência máxima
7. Escolha o parametro p0220 -> local=0 ->selecionar local ou remoto
8. Escolha o parametro p0135 -> 2 a corrente máxima de saída
9. Escolha o parametro p0156 -> 2,5 a corrente mínima de saída
10. Escolha o parametro p0400 -> 220 △ ou 380 ☆ tensão nominal do motor
11. Escolha o parametro p0401 -> 1 a corrente nominal do motor
12. Escolha o parametro p0402 -> 1700 velocidade nominal do motor
13. Escolha o parametro p0403 -> 60hz frequência nominal do motor
14. Escolha o parametro p0404 -> 1-> 0,25hp potência nominal do motor

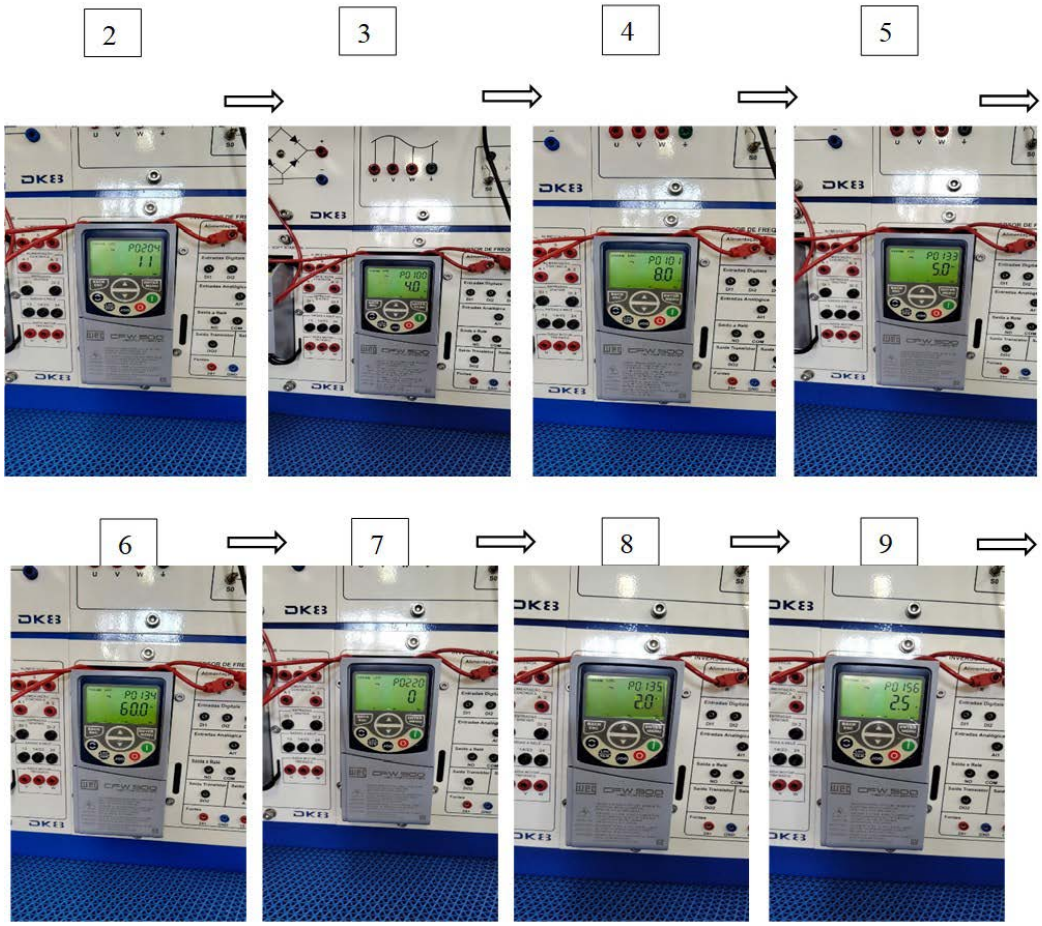
Gráfico 1 - O circuito foi energizado e observado o funcionamento do motor, conforme o.

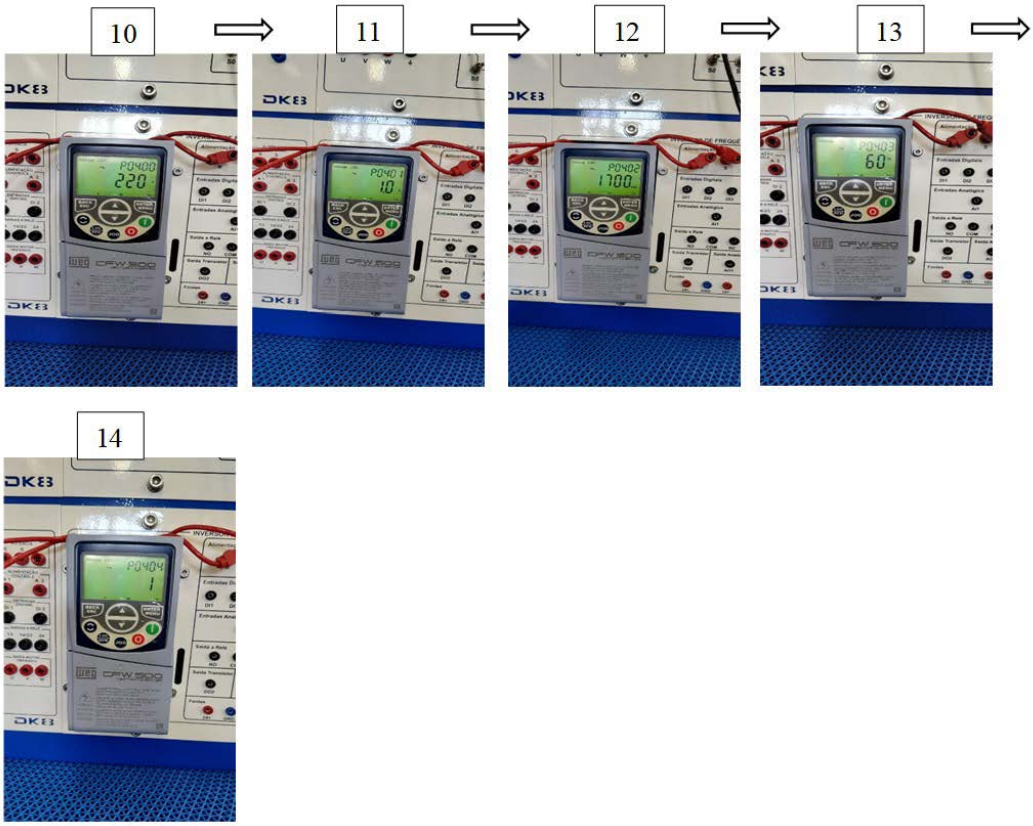


Fonte: Autores

A Figura 4. Apresenta a sequencia de parametrização na IHM.

Figura 4





Fonte: Autores

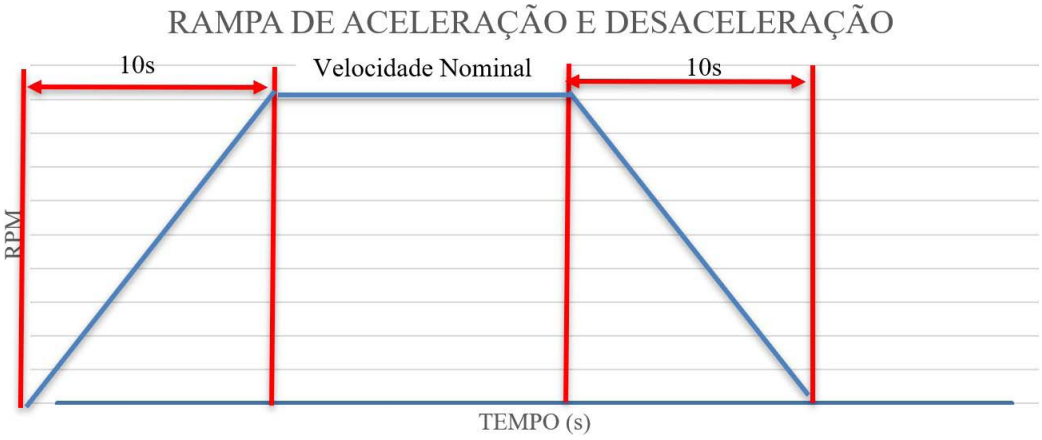
2º Experimento

Utilizado o mesmo circuito do experimento 1

Alterando a rampa de aceleração e desaceleração, ambas para 10 segundos:

- Escolha o parametro p0100 -> 10 seg -> aceleração
- Escolha o parametro p0101 -> 10 seg -> desaceleração

Gráfico 2 - Analizando a diferença de rampa com a do 1º experimento,conforme mostra o.



Fonte: Autores

3º Experimento

Utilizado o mesmo circuito do experimento 1

Alterando a frequência nominal do motor de 60hz para 40hz:

- Escolha o parametro p0403 -> 40hz frequência nominal do motor

Analizar a diferença de rampa com a do 1º e 2º experimento .

A figura 5 mostra a rampa de aceleração e a figura 6 mostra a rampa para desligamento, em ambas as rampas pode-se observar a variação de velocidade. De zero a nominal (Fig. 5) e de nominal a zero (Fig.6).

Figura 5 - Rampa de Aceleração.

Fonte: Autores

A Figura 6 mostra os dados da rampa de desaceleração.

Figura 6

Fonte: Autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os experimentos práticos realizados demonstraram o funcionamento eficaz do acionamento de motores elétricos utilizando inversores de frequência. A parametrização adequada do inversor permitiu controlar com precisão a velocidade e o torque dos motores, proporcionando uma partida suave e segura assim como demostrou a eficiência da aplicação dos inversores no controle da partida de motores através das rampas de acionamento e desligamento, o que evita sobrecargas na rede. Os resultados obtidos evidenciam a importância dos inversores de frequência na automação industrial e destacam a relevância do ensino prático para a formação de profissionais qualificados na área de automação.

Desta forma os experimentos práticos propostos neste estudo proporcionaram aos estudantes uma oportunidade valiosa de aprender sobre o acionamento de motores elétricos utilizando inversores de frequência onde, os alunos puderam adquirir conhecimentos teóricos e habilidades práticas essenciais para sua formação profissional na área de automação industrial. Portanto, enfatiza-se a importância de incluir atividades práticas no ensino de tecnologias industriais, a fim de preparar os estudantes para os desafios do mercado de trabalho e promover o avanço da indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

CALLEGARO, A. D. RHEINHEIMER, C. KOTLINSKI, E. JAPPE, T. K**. Influência de Inversores de Frequência na Qualidade da Energia Elétrica**. Disponível em: https://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081210152400-29906.pdf. Acesso em: 5/abril/2024.

COSTA, I.M.;LISBOA, S. N. D.; SANTOS, T. P. **Automação Industrial,** mai. 2003. Disponível em: https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_15_doc.doc Acesso em: 23 mar. 2024.

COSTA, J. dos S.; ANDRADE JUNIOR, L. M. L. de. **Energy efficiency applied to electricity consumption: A bibliographic review study**. Research, Society and Development, *[S. l.]*, v. 10, n. 4, p. e26210414085, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.14085. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14085. Acesso em: 5/abril/ 2024.

FATEC OSASCO. **Automação Industrial**. Disponível em https://fatecosasco.edu.br/osasco/index.php/automacao-industrial/. Acesso em: 5/abril/2024.

LIMA FILHO, D L. **A universidade tecnológica e sua relação com o ensino médio e a educação superior: discutindo a identidade e o futuro dos CEFETs**. **Perspectiva** [online]. 2005, vol.23, n.02, pp.349-380.Acesso em: 5/abril/2024.

WEG. **Inversor de Frequência CFW500**. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/br.Acesso em 03/abril/2024.

Capítulo

04

Automatização do processo manual do corte de pedra

Automation of the manual stone cutting process

Joelson Juk
Doutor em Educação – Professor EBTT/IFPR-Campo Largo
Flávio Adalberto Poloni Rizzato
Mestre em Educação – Professor EBTT/IFPR-Campo Largo
Thalyta Cavalcante da Silva
Técnica em Automação Industrial – Estudante/IFPR-Campo Largo
Eduardo Valomin Saczk
Técnico em Automação Industrial – Estudante/IFPR-Campo Largo

RESUMO

Este trabalho propõe explorar a automação do processo de corte de rochas, que neste estudo será genericamente denominada 'pedra', diferentemente da literatura especializada, uma vez que popularmente é mais bem compreendida. Abordaremos estudos e pesquisas relevantes sobre a temática. O objetivo central é analisar e apresentar uma solução, por meio de tecnologias disponíveis para a automatização desse processo, destacando benefícios, desafios e avanços recentes. Serão examinados métodos e técnicas utilizadas na indústria de transformação, bem como uma proposta de inovação por meio de um sistema propulsionado por molas visando proporcionar uma compreensão abrangente do estado atual da automação no corte destes minerais. O estudo visa contribuir para o conhecimento nessa área, oferecendo dados acadêmicos para profissionais, pesquisadores, empresas envolvidas no setor de extração e processamento de rochas, e que tenham interesse em dar continuidade ao projeto atual.

Palavras-chave: automação; corte de rochas; inovação; tecnologia.

ABSTRACT

This work proposes to explore the automation of the rock cutting process, which in this study will be generically called 'stone', unlike specialized literature, since it is popularly better understood. We will cover relevant studies and research on the topic. The central objective is to analyze and present a solution, using available technologies to automate this process, highlighting benefits, challenges, and recent advances. Methods and techniques

used in the processing industry will be examined, as well as an innovation proposal using a spring-driven system to provide a comprehensive understanding of the current state of automation in cutting these minerals. The study aims to contribute to knowledge in this area, offering academic data for professionals, researchers, companies involved in the rock extraction and processing sector, and who are interested in continuing the current project.

Keywords: automation; rock cutting; innovation; technology.

INTRODUÇÃO

Esta pesquisa propõe explorar a automação do processo de corte de rochas - denominadas simplesmente de 'pedras' - abordando as pesquisas relevantes sobre o tema. O objetivo central é analisar e apresentar algumas tecnologias disponíveis para a automatização desse processo, destacando benefícios, desafios e avanços recentes. Serão examinados métodos e técnicas utilizadas na indústria de transformação, setor industrial responsável pela transformação das matérias-primas em produtos a serem utilizados por outros segmentos da sociedade, conforme preconiza a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (IBGE, 2023), no grupo de produtos de minerais não-metálicos e/ou de produtos diversos advindos da mineração, bem como uma proposta de inovação visando proporcionar uma compreensão abrangente do estado atual da automação no corte de pedras.

O estudo visa contribuir para o conhecimento nessa área, oferecendo *insights* para profissionais, pesquisadores e empresas envolvidas no setor de extração e processamento de pedras. Isso porque as rochas ornamentais, como granito e mármore, são amplamente usadas em construção e decoração, mas a extração envolve técnicas antiquadas, expõe trabalhadores à poeira de sílica prejudicial e resulta em desperdício de material devido à falta de equipamentos modernos. Em visitas a uma Cantaria em Campo Largo/PR, foram observadas as condições de trabalho; a necessidade de mão de obra manual devido aos altos custos de discos diamantados abrasivos; a falta de representação sindical adequada para os trabalhadores dessa indústria, entre outros aspectos. Com base nessas observações, o estudo visa explorar soluções modernas para melhorar a eficiência e segurança no corte de pedra contribuindo para a modernização do setor e promovendo práticas mais seguras e sustentáveis.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A pedra é utilizada desde o período paleolítico, onde sabe-se que os hominídeos a utilizavam para a produção de ferramentas. Diante disso, é visto que esta arte da extração, do corte da pedra, ainda na atualidade é bastante presente. Pedras ornamentais como o granito e mármore são fortemente utilizados para decoração, pavimentos, construções, muros etc. O processo de extração do granito, mesmo após a Revolução Industrial e os avanços das tecnologias, continua sendo majoritariamente manual em pedreiras locais. Na extração do rochedo, utiliza-se uma escavadeira hidráulica para retirar parte da terra que está em volta da rocha, assim, permitindo melhor manuseio para se trabalhar com a

rocha escolhida. Em seguida, utiliza-se dinamite ou fio de luz, sendo ligado na luz ou em uma bateria, depois acende-se uma palha de aço na pólvora e explode o penhasco, assim continuamente até saírem blocos de pedras cada vez menores, de tamanho necessário ou suficiente. A partir disso, começa a transformação da rocha em pedaços menores, com trabalho manual de trabalhadores especializados.

Mesmo após a Revolução Industrial, ainda se vê em pequenas cantarias técnicas artesanais para a realização do corte manual de pedra. Isso foi verificado, inclusive, em uma visita informal no interior de Campo Largo, localidade de Três Córregos, em janeiro de 2023. Após observar o trabalho e o esforço físico do canteiro (nome que se refere às pessoas que trabalham em pedreiras), buscou-se entender como era realizado o trabalho, assim como as condições trabalhistas. Verificou-se *in loco* a relação entre trabalho e saúde do trabalhador e o tipo de máquinas destinadas ao corte de pedra visando trazer uma solução com base em conhecimentos sociológicos e de automação industrial. Em visita técnica em 23/03/2023 à Cantaria "IDEAL" em Campo Largo[1] - que tem como finalidade fazer revestimento de moinhos -, foram observadas as condições em que operários trabalham, a maneira que realizam o corte de pedras, rendimento e os materiais de trabalho, como: martelete, ponteira, escapela, marreta, broca, disco diamantado etc.

Os pesquisadores receberam a informação do proprietário da empresa, que a utilização do disco diamantado é inviável, pelo alto custo e pouca duração/ciclo de uso do mesmo em atrito com as rochas, especialmente o granito duro e resistente, o que obrigaria a troca dos discos a cada semana gerando um gasto de R$ 350 a R$ 400 reais. Assim, seu uso fica restrito a cortes lineares e/ou com necessidade de precisão, desbaste acentuado ou formato impossível de ser alcançado por manejo, o que implica em pouca utilização deste elemento abrasivo e, consequentemente, trabalho manual dos canteiros. Na Cantaria "IDEAL", esses trabalhadores fazem a própria cunha e ponteira com aço 1045 ou 1072, possuem um molde para realizar a têmpera, geralmente sendo feita no óleo lubrificante mineral com ou sem aditivos. Diante disso, o custo acaba sendo bem menor quando se trata de materiais, sendo optado pelo corte manual, onde um operário utiliza uma marreta e uma ponteira para realizar o trabalho: de início faz um poncho (furo cônico que fazem na pedra) servindo como guia para preparar a pedra, após fazer o poncho começa a bater a marreta na ponteira até partir a pedra, assim sucessivamente, transformando-a em paralelepípedos.

Nesse processo, o canteiro tem contato direto com o trabalho, sendo exposto completamente à poeira sílica, maior influenciadora da silicose, uma doença pulmonar. Pequenos pedaços de granito são arremessados no operador, conforme o processo, em que se choca com a pele do operário causando machucados, sendo visível a falta de segurança no trabalho. Foi percebido o pouco uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados para se evitar acidentes de trabalho, como: protetores auriculares, luvas de couro, capacetes e botas. Como regra geral, o EPI utilizado com frequência é o óculos de proteção. Por ser uma técnica manual, o processo acarreta perdas, sendo que a cada 50m^3 de pedras cortadas, ocorre 25% de perda de material rochoso pelo corte não padronizado resultando em pedras lascadas, notadamente quando não se atinge corretamente o veio, filão ou fenda da pedra, o que faz o corte sair torto. Na perspectiva dos trabalhadores, a técnica correta de corte é no 'olhômetro' (experiência, prática, repetição de trabalho). O veio

1 Nome fictício escolhido para preservar a razão social e a localização da empresa.

da pedra varia de rocha para rocha, sendo sempre incerto na hora do processo. Em média diária, o rendimento é de 25 pedras grandes cortadas, com 40 centímetros de comprimento, 20 centímetros de largura e 10 centímetros de espessura.

Na visita, sob a ótica dos direitos trabalhistas, foi conversado sobre as questões trabalhistas: o representante da empresa que recebeu os pesquisadores, mostrou como era o funcionamento da Cantaria informando sobre a falta de sindicato especializado para este tipo de trabalho. De acordo com ele, o ofício dos canteiros está sob a supervisão do Sindicato da Construção Civil de Campo Largo. Em pesquisas virtuais, foi descoberto o sindicato SINDECAMP-PARANÁ, mas atualmente no site do FIEP, que foi a fonte para encontrar tal sindicato, não são encontrados dados sobre a referida associação sindical. Descobriu-se, também, o SIMIGRAM-PR, tendo seu último presidente exercido mandato entre 2003 e 2005. Houve tentativas de contato para aprofundar mais e compreender como é vista a questão das pedreiras, mas nenhuma tentativa obteve sucesso. A partir das demais tentativas de contatos e informações adquiridas na visita técnica, foram pesquisadas máquinas ou técnicas existentes nas indústrias destinadas ao corte de pedra.

Tabela 1 - Valores estimados de máquina/ferramentas existentes na indústria.

FABRICANTE	MÁQUINA/FERRAMENTA	VALOR
FRAVIZEL	Prensa hidráulica automatizada	R$ 141.614,46
BOSCH	Serra Mármore 1500W 110v GDC 150 Titan Professional - 110V	R $342,42
WESCO	Serra Circular Wesco 18v 150mm C/ Lâmina E Chave	R$ 1101,14

Fonte: Autores (2023).

Como apresentado na Tabela 01, existem algumas máquinas que possibilitam facilitar o trabalho do corte de pedra. Estes valores mostrados na tabela podem variar, de acordo com marcas e lojas a serem adquiridos, como pode ocorrer essa variação de modelo não se sabe exatamente o nível de precisão dessas máquinas e ferramentas. Tais equipamentos citados acima, tem seus prós e contras, começando pela prensa hidráulica, cujo custo é muito elevado, sendo internacional, o valor dado na tabela foi estimado de acordo com modelos de 30 a 50 toneladas, tornando-se inviável para adquirir em uma pedreira pequena. Em contrapartida seus prós são que aguentam o trabalho árduo, e possuem corte padronizado, o que poderia diminuir as perdas. As serras elétricas circulares são mais viáveis, pelo seu custo, mas pela dureza do granito acaba sendo inviável pelo desgaste da ferramenta, gerando mais gastos ao local. Para além destes equipamentos, existem também a máquina corte a jato de água, que funciona com uma bomba intensificadora que cria pressão de água, chegando até 90.000 psi segundo a ESAB (2023), e é utilizado sistema hidráulico sobre o sistema de água, sendo necessário a utilização de tubos de alta pressão com diâmetro de 0,005” a 0,020”. A ESAB fabrica máquinas a jato de água Hydrocut CNC (Controle Numérico Computadorizado). Não sendo especializada para o corte de pedra, mas que pode ser adaptada dependendo do modelo, não sendo colocada na tabela, pois o fabricante não disponibilizou o valor.

Após a visita na Cantaria “IDEAL” e a análise de ferramentas existentes no mercado, foram iniciados testes para melhor desenvolver uma solução mais viável financeiramente para estes empreendimentos locais que, em última instância, beneficia o trabalhador

braçal evitando seu contato direto com o material rochoso. No dia 04/04/2023, ocorreu o primeiro teste na prensa hidráulica manual no IFPR - Campus Campo Largo, no Laboratório de Eletromecânica. No dia 27/04/2023, teste com um martelete elétrico da Bosch GBH 2-24D, 820W e 220V. Neste caso, com a utilização de talhadeiras, para maior auxílio na quebra. A partir dos resultados obtidos nos testes, começaram esforços para a elaboração de uma solução para o problema da quebra eficaz de pedras buscando utilizar recursos elétricos, ao invés de soluções pneumáticas ou hidráulicas. Neste transcorrer das tentativas e erros de construção de um protótipo, foi observado que necessitaria de maior tempo de maturação das ideias e para o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo, seguro e eficiente, dadas as limitações de informações e conhecimentos técnicos de automação industrial, durante o período mais grave da pandemia de covid-19, entre os anos de 2020 e 2022. Ressalte-se, outro fator complicador para o desenvolvimento do projeto, qual seja, as pouquíssimas referências relativas ao corte manual da pedra. A maioria dos materiais que resultam deste processo, são utilizados em pavimentos, corte do mármore, muros, mineração etc. Mas, sem entretanto, possuírem estudos e/ou teorias que promovam a compreensão mais ampla das aplicações dos fragmentos rochosos, o formato mais solicitado, o perfil dos consumidores, entre outros.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

No componente Projetos, previsto no Projeto Pedagógico de Curso Técnico em Automação Industrial do campus Campo Largo do IFPR, os estudantes são estimulados a demonstrar os conhecimentos adquiridos em sala de aula desenvolvendo um trabalho final de curso, tendo por desafio confrontar a realidade discente com a formação social e profissional ofertada na instituição:

> Desenvolver um trabalho técnico a respeito de um ou mais assuntos abordados durante o Curso, envolvendo projetos como por exemplo: desenvolvimento de maquete funcional, eletrônico ou mecânico usando software específico, bem como estudo de caso ou outro. Este trabalho deverá ser apresentado ao final do ano letivo (PPC Automação Industrial, 2019, p. 30).

Diante do desafio apresentado, o presente trabalho consiste em fundamentar um possível protótipo, tendo em vista as bases conceituais capazes de assegurar um bom percurso de investigação acadêmica e um confronto com a realidade dos trabalhadores que realizam a atividade de cantaria no nosso município. A ideia é perceber se existe alternativa viável de automatização do processo laborativo dos ‘canteiros’, profissionais que exercem o ofício e/ou arte da ‘cantaria’ esculpindo os blocos de pedra bruta para diversos usos na construção civil, pavimentação de ruas, muro de arrimo, decoração etc.

A história do trabalho na perspectiva sociológica é uma narrativa dialética que reflete as transformações sociais, econômicas e políticas ao longo do tempo. Na Idade Média e na Antiguidade, o trabalho manual era destinado às classes mais baixas da sociedade e/ou classes pobres sem liberdade e cidadania. Indivíduos vistos como inferiores em relação ao trabalho contemplativo (intelectual), como os que compreendiam os âmbitos da arte, da política e da filosofia. Tal inferioridade condizia com a organização de uma sociedade estamental, cuja posição do indivíduo na sociedade sobrevinha da sua origem familiar; e ele não teria possibilidade de ascensão social, estando destinado a um trabalho

especificado pelo ambiente social que estava inserido. Os ofícios eram transmitidos de geração em geração, com pouca ou nenhuma variação, o que implicava na reprodução da divisão social e sexual do trabalho. Entretanto, na Idade Moderna, em princípio do atual sistema político e econômico capitalista, o trabalho braçal passou a ganhar relevância na organização social por conotações mais favoráveis ao esforço humano de aquisição de riqueza. O produto resultante do trabalho passou a ser visto como uma forma de domínio sobre a natureza, edificante para o homem. Ressignificou-se o labor como algo próximo à dignificação humana, somou-se a isso o protestantismo, conforme investigou o sociólogo alemão Max Weber (1999, p.33):

> O ganho de dinheiro na moderna ordem econômica é, desde que feito legalmente, o resultado e a expressão da virtude e da eficiência em certo caminho; e essas eficiência e virtude são, como agora se tornou fácil de ver, o alfa e o ômega da verdadeira ética de Franklin, como foi expressa nos trechos citados, tanto quanto em todos os seus escritos, sem exceção.

O século XVIII marcou o início da Revolução Industrial inglesa, que transformou drasticamente o trabalho. A mecanização e a urbanização levaram ao surgimento de fábricas e à migração das pessoas para as cidades em busca de empregos. As condições de trabalho eram frequentemente brutais, com jornadas longas e salários baixos. A sociologia como disciplina acadêmica começou a se desenvolver no século XIX. Pensadores como Karl Marx (2013) e Émile Durkheim (1999) contribuíram para a compreensão do trabalho na sociedade.

Para o sociólogo alemão Marx, por exemplo, analisou as relações de classe e a exploração dos trabalhadores pelos capitalistas. Marx teorizou que a livre concorrência na Europa gerava maior competição entre os fabricantes no mercado e a tecnologia resultante das revoluções industriais exigia cada vez menos mão de obra humana. Cruzadas essas duas realidades, haveria cada vez menos trabalhadores assalariados (ou seja, com recursos financeiros) e cada vez mais produtos no mercado, o que geraria uma crise de superprodução onde a alta oferta não encontra essa demanda. O sociólogo francês Durkheim explorou como o trabalho pode moldar a coesão social. Para Durkheim, o trabalho é uma atividade social que relaciona a produção e o intercâmbio de produtos e serviços: para ele, a compreensão da divisão social do trabalho é fundamental para entender as relações entre as instituições sociais e seus papéis. O espaço físico de trabalho, em tese, explica as características gerais do ambiente laborativo englobando os equipamentos utilizados pelos operários, a temperatura do local, os níveis de ruídos, a iluminação, entre outros fatores. é necessário observarmos também a postura ergonômica do trabalhador, não só porque é uma exigência dos órgãos governamentais, mas, sobretudo, para uma correta análise das condições físicas dos envolvidos no processo trabalhista. Dessa forma, podemos afirmar que:

> A automação Industrial vem da substituição do trabalho manual, por máquinas ou sistemas automatizados, buscando reduzir o contato do operador com o processo de produção, permitindo que o trabalhador tenha mais segurança simplesmente controlando uma máquina. No entanto, com a falta de automação em alguns setores, atualmente existem muitos trabalhos braçais (Ribeiro, 1999, p. 11-12).

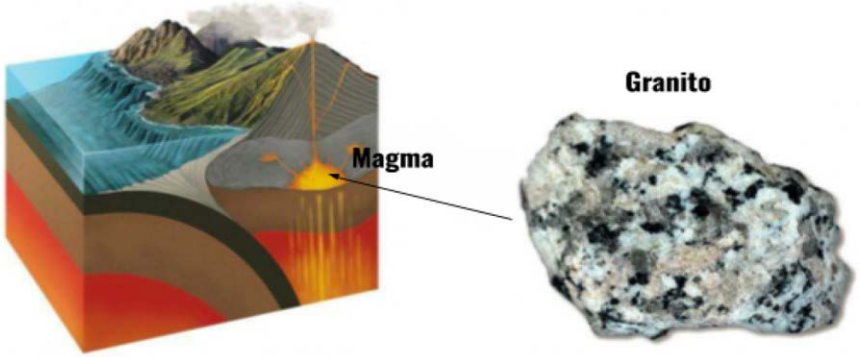
A extração manual de pedra granítica pelos canteiros na região de Campo Largo, no Paraná, é uma atividade que, embora tenha suas raízes na tradição local e contribua para a economia regional, problematiza a situação de trabalho dos envolvidos. A dureza e o peso

das pedras graníticas tornam o trabalho árduo e fisicamente desgastante, aumentando o risco de lesões e os problemas de saúde para os trabalhadores. Além disso, muitos desses trabalhadores podem enfrentar condições de trabalho precárias, com falta de equipamentos de segurança adequados e remunerações insuficientes. A falta de regulamentação eficaz pode levar à exploração e à vulnerabilidade desses trabalhadores, que muitas vezes não têm acesso a benefícios sociais e condições de trabalho dignas. Por meio da pesquisa realizada e pelo diálogo com alguns trabalhadores do meio, foi possível observar a falta de registros formais, como: arquivos escritos, relatórios etc. E a escassez de regulamentação neste processo de extração: fica evidente não ser um problema exclusivo da região estudada, pois a situação de precariedade se repete em todo o Brasil e isso pode ser verificado em pesquisas teóricas e observações da realidade.

> A extração da pedra granítica foi, por várias décadas do século XX, uma das principais atividades econômicas do município de Sangão. Entre a década de 1960 e de 1990, uma quantidade significativa de trabalhadores experimentou duras condições de trabalho na exploração das pedreiras. Essa atividade apresentou várias especificidades nas relações de trabalho e o trabalho artesanal desenvolvido de forma autônoma marcou as singularidades dessa categoria de trabalhadores (Zanelatto; Serafim, 2010, p. 1).

Essa bases conceituais asseguram um percurso de investigação acadêmica sob dados da realidade dos trabalhadores que realizam a atividade de cantaria. A ideia é perceber se existe alternativa viável de automatização do processo laborativo dos ‘canteiros’, profissionais que exercem o ofício e/ou arte da ‘Cantaria’ esculpindo os blocos de pedra bruta para diversos usos na construção civil, pavimentação de ruas, muro de arrimo, decoração etc. Observa-se que o corte de pedra nas pedreiras, na atualidade, ainda utiliza técnicas manuais, sem o uso de equipamentos e máquinas motorizadas. Constatou-se isso na exploração do granito, como matéria-prima ou material básico de construção, usado para fazer muros, pavimentos, ornamentos, anéis de granito para poços etc. As diversas utilidades do material são acompanhadas de trabalho manual repetitivo e penoso. Há três grupos de rochas existentes que são as Ígneas, sedimentares e metamórficas: 1) rochas ígneas ocorrem pelo resfriamento e/ou solidificação do magma; 2) rochas sedimentares se dão pela temperatura e pressão baixa, dada da degradação de rochas pré-existentes; 3) rochas metamórficas são formadas, a partir de outras rochas, realizando a ação de metamorfismo que acarreta o crescimento de cristais, sem fusão. Segundo o Geociências (2023), o granito pertence à classe das Rochas Ìgneas e é chamado de Rocha Plutônica ou Intrusiva, formado pelo resfriamento do magma de profundidade, conforme Figura 1:

Figura 1 - Granito na natureza.



Fonte: CienTIC, [s.d]. (adapta)

À medida que o magma esfria lentamente, tais cristais como feldspato e quartzo se desenvolvem nas rochas, visíveis a olho nu, sendo classificado como uma rocha fanerítica. O magma granítico é rico em sílica (SiO^2) sendo considerado segundo o Serviço geológico do Brasil (SGB) de 2015, uma rocha ácida do ponto de vista químico contendo 66% de sílica, o Riolito está presente nesta classificação. Contém em sua composição Feldspato, quartzo e mica (SGB. Rochas), responsáveis pela sua dureza e resistência. É devido a quantidade de minerais que definem a cor de cada granito. No granito, rochas podem ser encontradas nas seguintes cores: branca, cinza, vermelha, rosa ou verde.

A formação dessas rochas se dá pela junção dos minerais: quartzo, mica e feldspato. Conforme aponta o FUNDACENTRO, Sílica - Manual do trabalhador 2010, a sílica pode ser encontrada em forma cristalina, como quartzo, tridimita, cristobalita e trípoli ou na forma amorfa, como sílica gel ou a sílica coloidal. No granito, encontra-se a SiO^2 na forma livre cristalizada, a partir do mineral tectossilicato quartzo. A sílica cristalina é a maior causadora da doença silicose, uma doença pulmonar causada pela inalação constante da sílica. Ao longo do tempo, a sílica enrijece as estruturas presentes no pulmão, que precisam ser flexíveis para a passagem do ar. Causa-se a partir disso a fibrose pulmonar, onde o indivíduo apresenta dificuldade de respirar. Esta doença pode ser crônica ou aguda, dependendo do tempo que a pessoa ficou exposta à sílica (Rede D'OR, 2023). Na extração industrial do granito é feito a partir de dinamites, explosões, utilizando máquinas o que interfere o contato direto do operador com a sílica. Já em pedreiras menores, onde o corte necessita ser preciso, para utilização em pavimentos etc. Os operadores têm contado direto a este trabalho, inalando a poeira sílica. O que os leva a ter mais tendência a desenvolver silicose e fibrose pulmonar. Conforme o Ministério da Saúde - Instituto Nacional de Câncer (INCA), "trabalhadores expostos à sílica, quando comparados com a população em geral, possuem risco 2 a 3 vezes maior de câncer de pulmão." Este processo de extração/contato com a sílica, ocorre no trabalho com o granito, que se encontra em forma arredondada nas superfícies terrestres como resultado a esfoliação esferoidal.

Figura 2 - Granito arredondado na natureza.

Fonte: Autores, 2023.

A esfoliação esferoidal resulta do intemperismo químico, um processo de desgaste das rochas, ao qual os minerais primários são expostos à água, assim, transformando-as em blocos rochosos, fenômeno que ocorre em climas quentes e úmidos. Acima, na

Figura 2, temos uma imagem de demonstração de sua forma arredondada: para realizar a extração do granito, deve-se retirar parte da vegetação que está em sua volta com remoção parcial do solo, para melhor visibilidade da rocha:

> Na maioria das regiões do globo, as rochas não afloram diretamente, mas estão cobertas por um solo, sobre o qual se desenvolve a vegetação. Esse solo resulta da degradação do subsolo, e sua natureza reflete a composição das rochas subjacentes (rochas mães) e as condições de sua alteração. (Pomerol *et al.*, 2012, p. 654).

Acarretando a graves impactos ambientais, como deterioração do solo, destruição de reservas florestais, em alguns casos o descarte de entulhos, que pode causar assoreamento de rios e lagoas. No entanto, dia 07/01/2020, foi aprovada a Lei N° 13.975, que possibilita realizar a extração de rochas ornamentais e revestimentos de carbonatos de cálcio e de magnésio, a partir de licenciamento ou de autorização e concessão. Como o granito é a matéria-prima para o trabalho do canteiro em Campo Largo, a falta de um sistema automatizado não favorece a extração e quebra da rocha.

Diante disso, foram analisados os conceitos básicos de elétrica, hidráulica e pneumática. Eletricidade é uma das formas de energia mais importantes do mundo moderno. É a energia produzida pelo movimento dos elétrons em um circuito elétrico. A eletricidade pode ser gerada de várias maneiras, como energia solar, energia hídrica, energia térmica e energia eólica. Para entender melhor a eletricidade, é importante conhecer alguns conceitos básicos como: tensão elétrica. A diferença de potencial entre dois pontos em um circuito, medida em volts (V). A corrente é o fluxo de elétrons em um circuito e é medida em ampères (A). Além disso, a resistência elétrica é uma medida de resistência ao fluxo de corrente em um circuito e é medida em ohms (Ω). Potência é a quantidade de energia elétrica medida em watts (W) que é convertida em outras formas de energia, como calor ou movimento:

> A história da eletricidade teve início há muito tempo. Entretanto, os sistemas de potência para geração, transmissão e distribuição de energia elétrica iniciaram a pouco mais de um século, a partir de 1882, com o sistema em corrente contínua (CC) desenvolvido por Thomas Alva Edison e a partir de 1886, com o sistema em corrente alternada (CA), desenvolvido por George Westinghouse e Nikola Tesla (Freitas, Zancan, 2010, p. 75).

A utilidade da eletricidade justifica porque está presente em nosso cotidiano: motores, eletrônica, iluminação, transporte, comunicações etc. fazem parte do conjunto de criações necessárias para a manutenção da sociedade. Os preceitos básicos de eletricidade residem em como manejá-la com segurança e eficiência. A eletricidade e a hidráulica são fontes de energia amplamente utilizadas na indústria. Enquanto a eletricidade é usada para alimentar máquinas e equipamentos elétricos, a hidráulica é usada para controlar movimentos de sistemas mecânicos e acionar equipamentos hidráulicos. Ambas as fontes de energia são importantes para garantir a eficiência e a produtividade das operações industriais:

Figura 3 - Estrutura de escavadeira hidráulica.

Fonte: KARTER, 2023.

A hidráulica é um ramo da física que estuda o comportamento dos fluidos, especialmente água e óleo, em movimento e sob pressão. Na indústria, a hidráulica é aplicada em sistemas que utilizam líquidos pressurizados para controlar e transmitir energia, como sistemas de elevação, máquinas de produção, prensas hidráulicas, sistemas de freio de veículos, estrutura de escavadeira hidráulica, entre outros, como se pode observar na Figura 3:

> Os principais conceitos da hidráulica incluem a pressão, vazão, volume, força e torque. A pressão é a força exercida por unidade de área, enquanto a vazão é a quantidade de fluido que passa por um ponto em um determinado intervalo de tempo (Moreira, 2012, p. 9).

A hidráulica e a pneumática são duas tecnologias comuns na indústria que envolvem o uso de fluidos para gerar força e movimento. A hidráulica utiliza um líquido incompressível, enquanto a pneumática utiliza gás comprimido para transferir energia. Essas tecnologias são utilizadas para controlar equipamentos mecânicos e automatizar processos em diversas indústrias, incluindo automotiva, aeronáutica e produção em geral. A pneumática é dedicada à análise do comportamento do ar em movimento sob pressão. Nos meandros da indústria, a pneumática ostenta aplicações notáveis em sistemas que se valem do ar comprimido para controlar e transmitir energia, a exemplo de sistemas de automação industrial, máquinas de produção, sistemas de freio de veículos, dentre outros mecanismos ou equipamentos rotineiramente utilizados na produção de produtos industrializados:

Figura 4 - Sistema pneumático.

Fonte: DREAMSTIME, 2023.

Os sistemas pneumáticos (vide Figura 4) se compõem de uma miríade de componentes, como compressores, válvulas, tubos e cilindros pneumáticos. O compressor, como elemento central, engendra a pressão necessária para impulsionar o ar comprimido, ao passo que as válvulas se incumbem de regular a direção e intensidade do fluxo. As tubulações e mangueiras, por sua vez, cumprem a função de transportar o ar comprimido aos cilindros pneumáticos, que convertem a pressão pneumática em trabalho mecânico:

> Os sistemas pneumáticos podem ser singelos ou complexos, haja vista que cada projeto é concebido de acordo com os requisitos específicos do equipamento ou processo em questão, considerando aspectos como pressão, vazão, temperatura, eficiência e segurança (Silva, 2002, p. 6).

A adaptação das tecnologias elétricas, hidráulicas e pneumáticas para operar em ambientes naturais e irregulares é um desafio essencial. As condições externas, como poeira, umidade e variações de temperatura, podem impactar o desempenho dos sistemas automatizados. Encontrar componentes e materiais robustos o suficiente para suportar essas condições é crucial. Garantir a manutenção adequada dos sistemas automatizados é um desafio contínuo. A necessidade de reparos, atualizações e substituições de peças pode afetar a eficiência da produção. Desenvolver sistemas de monitoramento e diagnóstico remoto para identificar problemas antes que se tornem críticos é uma abordagem importante. Portanto esta transição para sistemas automatizados requer treinamento adequado para os operadores. Eles devem compreender como interagir com as máquinas, monitorar o processo de produção e lidar com emergências. O treinamento eficaz é essencial para garantir a segurança e a produtividade: a automação envolve a integração de várias tecnologias diferentes. A harmonização entre sistemas elétricos, eletrônicos e de software é complexa. Problemas de compatibilidade e interoperabilidade precisam ser resolvidos para evitar falhas de comunicação e funcionamento inadequado.

A indústria de corte de pedra lida com uma ampla variedade de tamanhos, formas e tipos de pedras. Desenvolver sistemas automatizados flexíveis o suficiente para lidar com essas variações é um desafio. A capacidade de personalizar os processos de automação para atender a diferentes demandas do mercado é crucial. Garantir a segurança dos trabalhadores e a proteção dos ativos é uma prioridade. A automação envolve máquinas

em movimento e processos complexos, o que requer medidas rigorosas de segurança. Isso inclui sistemas de parada de emergência, barreiras físicas e protocolos de segurança.

METODOLOGIA, MATERIAIS E PROCESSOS

No processo de desenvolvimento do projeto, adotou-se uma abordagem sistemática para avaliar cuidadosamente as técnicas e tecnologias disponíveis, garantindo assim a sua viabilidade. Foram conduzidas pesquisas minuciosas para aprofundar a compreensão do contexto histórico e social relacionado ao corte de rochas, um conhecimento essencial para alcançar os objetivos propostos neste trabalho. Essas pesquisas não apenas forneceram conceitos valiosos, mas também suscitaram a necessidade de uma compreensão direta e aprofundada do trabalho e da execução desses métodos pelos trabalhadores de granito. Essa imersão profunda na prática real foi fundamental para informar e enriquecer o desenvolvimento do projeto, proporcionando uma base sólida para a implementação bem sucedida das técnicas estudadas (será abordado em Materiais e Processos). Após realizar diversos testes para determinar o método mais eficaz de realizar o processo da quebra de pedra granítica, os resultados obtidos foram esclarecedores para indicar o caminho mais adequado a seguir com o protótipo.

A visita na Cantaria “IDEAL” e a análise de ferramentas existentes no mercado, foram iniciados experimentos para melhor desenvolver uma solução financeiramente viável para estes lugares mais autônomos. No dia 04/04/2023, ocorreu o primeiro teste na prensa hidráulica manual no IFPR - Campus Campo Largo, no laboratório de eletromecânica. Neste teste observou-se a força mecânica exercida pela prensa, para a quebra do granito, a partir desta observação foi descartada a ideia pelo alto nível de força necessário para fragmentar a rocha (2 toneladas). Os pesquisadores começaram a buscar soluções que não envolvessem a hidráulica, mesmo sabendo que ela seria mais adequada para tal processo, seu custo seria elevado e fugiria do objetivo almejado, que é poder proporcionar um processo automatizado, de menor custo, para pedreiras locais de menor escala. A partir disso, foi realizado no dia 27/04/2023, teste com um martelete elétrico da Bosch GBH 2-24D, 820W e 220V com o uso de talhadeiras, para maior auxílio na quebra. Os testes com o martelete renderam maiores resultados de início, mas logo se mostraram inconsistentes para realizar o trabalho de forma contínua e uniforme. Os métodos utilizados para quebrar as pedras com o martelete foram diversos, várias possibilidades foram analisadas e testadas para esclarecer os resultados de modo empírico em condições controladas pelos pesquisadores. Durante os testes, foram observados problemas com o método do martelete: inconsistência na quebra, superaquecimento da ferramenta, tempo para realizar o trabalho longo e outros pequenos empecilhos. Para o objetivo tais características não permitiram que o martelete fosse utilizado. Porém, a ideia foi mantida, pois foi cogitado a utilização de um martelete com mais potência, que seria adequado para o protótipo, tal martelete está sendo ilustrado na Figura 5:

Figura 5 - Martele BOSCH GBH 2-D, 820W e 220V.

Fonte: Autores, 2023.

Após serem feitas pesquisas mais aprofundadas sobre os possíveis métodos mais eficazes para partir as rochas, foi realizada outra reunião no dia 18 de maio de 2023 onde mais testes com o martelete foram executados, como visto na figura 6 onde pode se observar a execução da quebra da rocha, e na figura 7 o resultado da figura anterior, tendo em vista que a rocha utilizada não tem uma grande espessura:

Figura 6 - Teste em rocha granítica com martelete BOSCH GBH 2-24D, 820W e 220V

Fonte: Autores, 2023.

Figura 7 - Rocha granítica com martelete BOSCH GBH 2-24D, 820W e 220V

Fonte: Autores, 2023.

Em testes mais longos, com rochas que possuem maior espessura, foi constatado a ineficácia do meio até então utilizado, pois no uso de rochas mais espessas, o martelete já não se mostrou eficaz no trabalho, sendo notada uma maior dificuldade em fragmentar a rocha. Ademais, as vibrações do martelete causaram uma grande instabilidade na rocha, dificultando ainda mais a quebra. Porém, foi apenas na reunião do dia 23/05/2023, em que foi decidido desconsiderar a ideia da utilização do martelete e iniciar a discussão sobre a estrutura física do protótipo. Ao decorrer de duas semanas que sucederam a data da última reunião, foi estruturada uma maquete com o fim de visualizar e entender de forma mais prática a estrutura do projeto. Esta maquete simplificada permitiu o amadurecimento e a evolução da ideia da estrutura do protótipo, sendo ilustrada nas Figuras 8, 9 e 10:

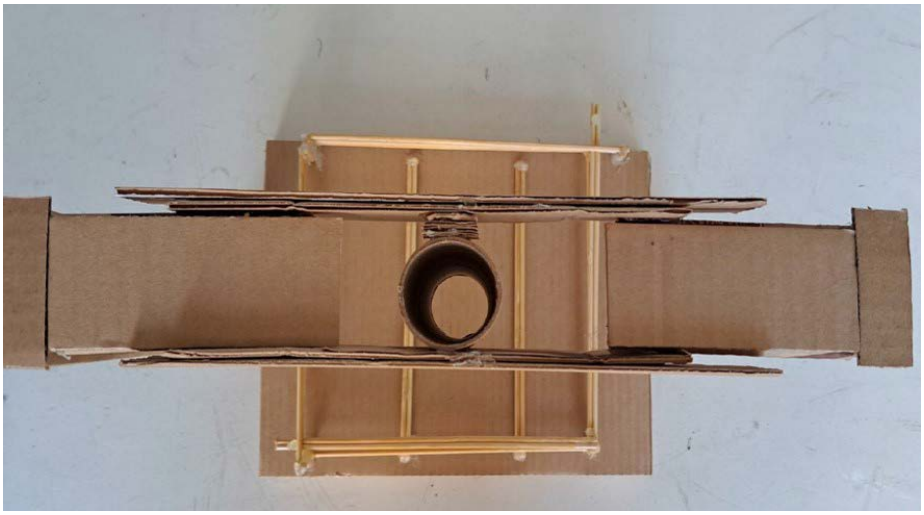
Figura 8 - Maquete simplificada.

Fonte: Autores, 2023.

Figura 9 - Base da maquete simplificada.

Fonte: Autores, 2023.

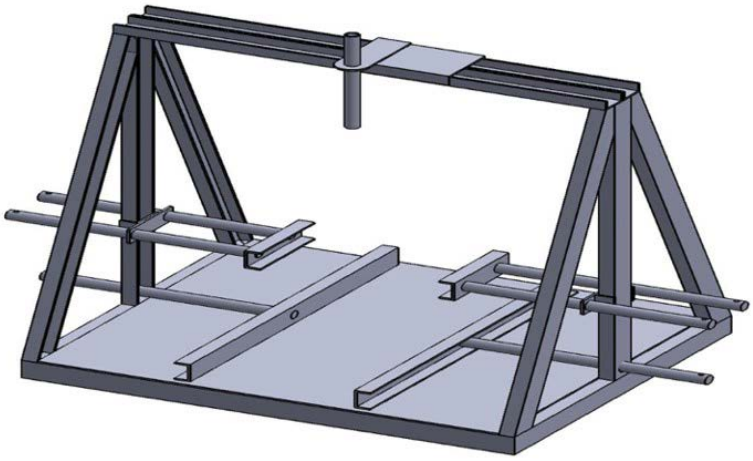
Figura 10 - Visão superior da maquete simplificada.



Fonte: Autores, 2023.

No decorrer de outra reunião, em 29/05/2023, foi estruturado por meio de testes e pesquisas a atual ideia que rege o projeto. De acordo com estudos estruturados pela equipe, também de forma empírica, com base em análises sobre o processo da quebra das rochas. Seria necessário um movimento de maior velocidade para assim, o impacto partir a rocha. O choque com maior velocidade seria mais eficiente, tanto na precisão do corte quanto no tempo de realizar o serviço. Observa-se, também, que tal impacto necessita uma força reduzida, se mostrando mais adequado para os requisitos do projeto.

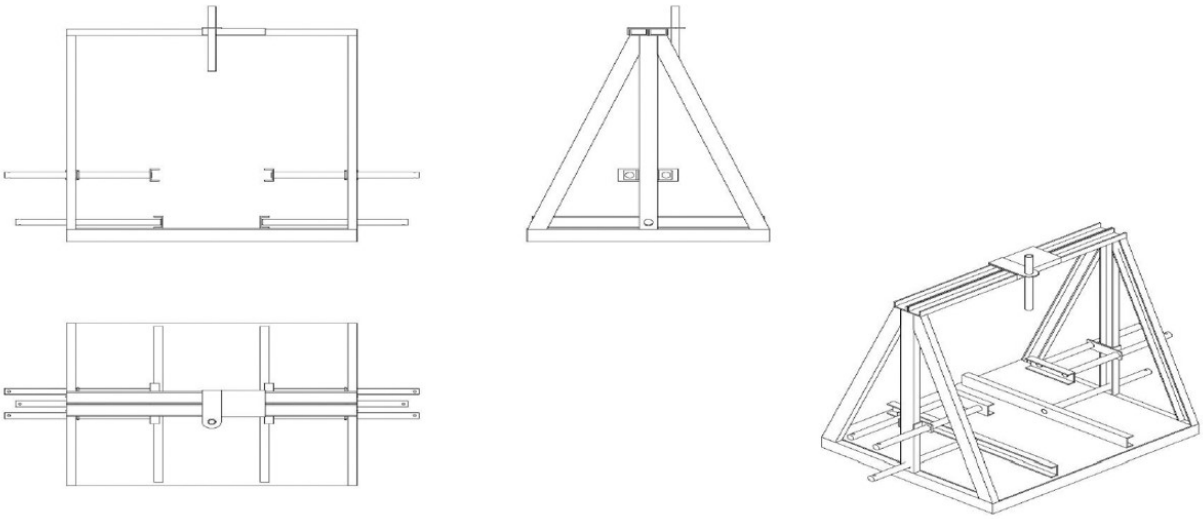
Figura 11 - Modelagem 3D da estrutura ideal para o protótipo.



Fonte: Hattori, 2023.

Para se obter melhor visualização da estrutura do protótipo, foi realizada uma modelagem 3d no software SolidWorks, podendo ser visualizada nas Figuras 11 e 12, sendo feitas adaptações na estrutura do protótipo, visando a parte mecânica, onde foi levado em conta o trabalho que a máquina exerceria, assim, visando uma estrutura mais adequada para suportar todo o impacto do corte, ou seja, a ideia recebeu um melhoramento em sua estrutura, sendo possível visualizar na modelagem 3d. Esta modelagem foi feita para fins ilustrativos, não contendo nenhuma simulação no software, a escala utilizada foi 1:50 mm:

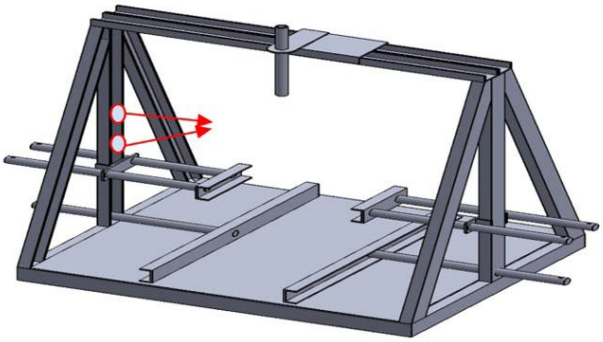
Figura 12 - Modelagem no papel A4 da estrutura 3D.



Fonte: Hattori, 2023.

O protótipo funcionaria a partir de botões, um para acionar e outro para emergência. Visando ser o mais intuitivo possível para o trabalhador utilizá-la. Nos pilares indicados (Figuras 13 e 14), um sensor capacitivo identificará a presença da rocha. É ideal que sejam colocados no mínimo dois sensores em alturas diferentes, para que seja abrangente a altura estimada do granito, ao qual o protótipo suportaria:

Figura 13 - Posição dos sensores capacitivos.



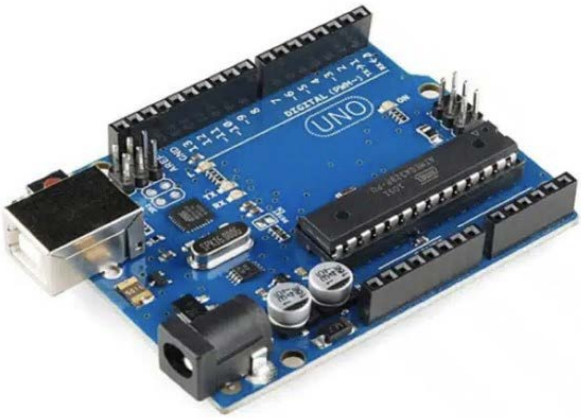
Fonte: Hattori, Autores, 2023.

Figura 14 - Sensor capacitivo CR30 - 15DP

Fonte: MHS Materiais elétricos, 2023.[2]

Após a rocha ser posicionada dentro do campo de medição do sensor capacitivo, a mola será acionada, iniciando o processo da quebra. Tem-se como objetivo utilizar o Arduino Uno (Figura 15) como principal meio de controle, com o emprego da linguagem deste microcontrolador, para assim fazer toda a comunicação desejada entre os componentes utilizados ao decorrer do protótipo. Para realizar o processo da quebra, a proposta seria utilizar uma mola cônica, que seria comprimida no interior de um tubo, por um motor acoplado a uma rosca sem fim. Quando a mola se comprimir por completo, o sistema de travamento será acionado. Este sistema será composto por uma chave fim de curso, que acionada identifica se a mola está comprimida e seu uso servirá como segurança ao decorrer do processo (Figura 16):

Figura 15 - Placa Arduino UNO R3.



Fonte: Maher Hero, 2023.[2]

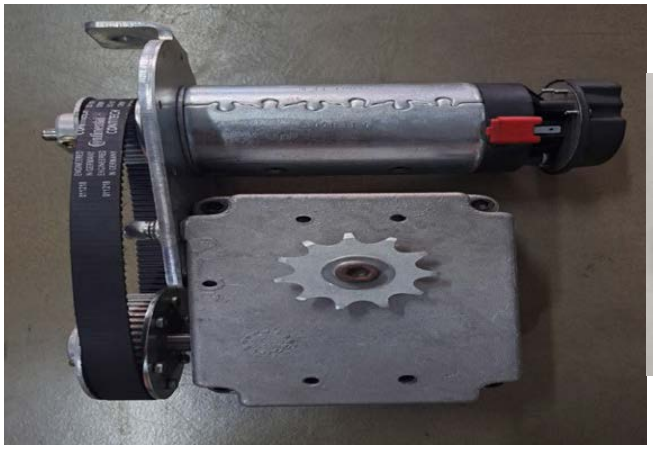
Figura 16 - Chave fim de curso com alavanca.

Fonte: Eletrorastro, 2023.[2]

Ao final do processo de compressão a mola é liberada com o auxílio de uma catraca, que permitiria seu livre movimento. A mola então movimenta um êmbolo que transfere toda sua energia para uma ferramenta de quebra que é acoplada ao final do pistão. Ao final, esta ferramenta seria direcionada para o bloco de granito que em questão deseja-se partir. Após este processo acontecer, a mola voltará ao seu estado inicial, para que possa se reiniciar o trabalho exercido pela máquina. Em tese, o impacto gerado pela mola seria mais que suficiente para partir a rocha, podendo ocorrer repetições da ação realizada. Mas como supracitado na Justificativa, não foi possível realizar o teste em prática. Abaixo na Figura

17 e na Figura 18, é ilustrado a mola e o motor com caixa de redução que seriam utilizados no protótipo:

Figura 17 - Motor com caixa de redução



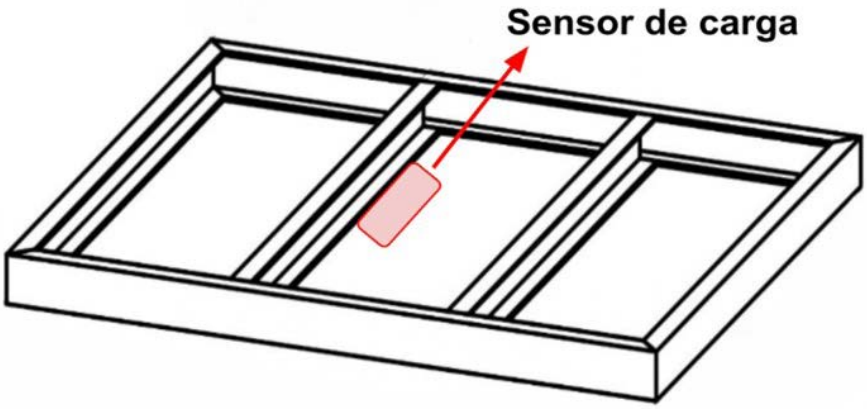
Fonte: Autores, 2023.

Figura 18 - Mola de compressão.

Fonte: Autores, 2023.

Na base do protótipo, é visto dois apoios destinados para posicionar e ajustar a rocha, de forma que ela fique o mais presa possível na estrutura, este processo seria realizado manualmente. Conforme a rocha é quebrada ela vai tender a cair para o meio dos apoios, logo, a força total em cima dos apoios será amenizada. Como neste processo da quebra, o sensor terá mais proximidade com a rocha, sendo mais suscetível a ter contato com a poeira, o sensor capacitivo se tornaria inadequado sendo mais recomendado a utilização de sensores de carga. Diante disso, para identificar se a rocha quebrou, foram utilizados sensores de carga, que devido ao seu tamanho, ficaram dentro da base da estrutura, embaixo dos apoios (Figura 19):

Figura 19 - Posição indicada na para posicionar o sensor de carga.



Fonte: Autores, 2023.

Os sensores de carga vão comparar os pesos iniciais, coletados quando a pedra é posicionada sobre os apoios, com aqueles medidos a cada funcionamento. Quando se identificar que o peso diminuiu acima de uma determinada porcentagem, obtida através de teste que teriam que ser realizados após a montagem da máquina, se saberá que a rocha foi quebrada. Como os tamanhos das pedras podem variar, automaticamente seu peso também, desta forma, seria determinado a partir do código de programação. Essa medição ocorre através de um comando *loop while* - uma estrutura de repetição em Javascript - para que as medições possam ocorrer repetidamente, até que se dê um comando que a torne

falsa, assim, impedindo a continuação das medições, podendo ajustá-las na programação (Figura 20):

Figura 20 - Sensor de força e pressão, Tipo S.

Fonte: AliExpress, 2023.

Na construção do protótipo, é adequado utilizar um sensor de força apenas, porém, visando mais precisão pode-se utilizar dois. Com a identificação da pedra quebrada, a máquina vai encerrar seu processo, para que o trabalhador possa retirar o paralelepípedo. Caso a rocha não seja quebrada, o sensor não será ativado, sendo assim, o processo se repetiria até o momento do acionamento do sensor, a partir deste dado momento significará que a rocha foi cortada. Para medidas de segurança, após essa identificação a máquina só inicia outro processo de corte quando o operador acionar o botão de ligamento, caso isso não seja feito ela permanecerá desligada, ou seja, com a finalização de um corte a máquina deverá desligar automaticamente. A mola aparenta-se como opção adequada para uma construção do protótipo: valor, custo de manutenção, durabilidade e eficiência. A hidráulica e a pneumática seriam outros meios funcionais e eficazes, porém, ultrapassam o objetivo idealizado neste projeto, que visa as pequenas pedreiras. Além disso, utilizar um pistão pneumático para gerar o impacto implicaria em uma constante manutenção do equipamento: o pistão não é construído para operar com muito impacto e sua estrutura possui limites a serem observados. Para fins de conhecimento do valor do protótipo, foram realizados levantamentos de custo dos materiais que seriam utilizados, tendo em mente um protótipo funcional. Tais materiais foram indicados na Tabela 02:

Tabela 2 - Valores estimados de componentes para o protótipo.

Componente	Situação	Quantidade	Fornecedor	Valor
Placa Arduino UNO R3	Necessita comprar	01	Maker Hero	R$ 94,90
Chave Fim de Curso	Necessita comprar	01	Eletrorastro	R$ 40,90
Sensor CR30-15DP	Necessita comprar	02	MHS Materiais	R$ 389,90
Sensor força/pressão Tipo S	Necessita comprar	01	Ali Express	R$ 749,85
Motoredutor Trifásico	Obtido por doação	01	Redutores Lilo	R$ 1.333,14
Mola de Ação	Obtido por doação	01	Falcon Armas	R$ 32,00
Chapa de Aço	Obtido por doação	02	Metalco	R$ 9,00/Kg
Barra de Aço	Necessita comprar	02	Obramax	R$ 47,50
Cano de Metal	Obtido por doação	02	Usiminas	R$ 116,86

Componente	Situação	Quantidade	Fornecedor	Valor
Fuso Trapezoidal	Necessita comprar	02	Mercado Livre	R$ 119,90
Botões	Necessita comprar	02	Zathura	R$ 29,90
			TOTAL:	R$ 4.064,01

Fonte: Autores, 2023.

Diante dos materiais e componentes pesquisados e escolhidos, o custo final a ser gasto para a realização do protótipo se mostrou muito elevado para os propósitos estabelecidos no presente trabalho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através das pesquisas e estudos realizados, testes e visitas técnicas em pedreiras locais de administração familiar, concluiu-se que há uma demanda tecnológica para a problemática retratada neste trabalho, qual seja, a automatização do processo manual do corte de pedra. A respeito do protótipo não ter sido construído, sobrevieram motivos de força maior, tais como a ausência de estudos acadêmicos específicos sobre o trabalho manual do corte de rocha, a escassez de tempo de pesquisa, e o elevado custo de alguns componentes. Entretanto, os estudos realizados firmaram a base para uma futura construção do protótipo por outros estudantes, guiando o caminho mais adequado e demonstrando o que pode ser de fato continuado. Foram, por exemplo, descartadas ideias iniciais, como a utilização de um martelete ou de um fuso elétrico, que vieram a se mostrar ineficientes.

O trabalho cumpriu o objetivo geral de tornar-se uma referência teórico-metodológica. Com indicações mais adequadas de como iniciar e desenvolver um artefato automatizado para auxiliar o ofício da cantaria, tão árduo e degradante para o trabalhador manual, além de trazer a perspectiva de padronização dos cortes de rochas. Como observado ao decorrer do projeto, existe uma defasagem na ideia da compreensão da mola. Nas reuniões realizadas foi conversado sobre como a mola voltaria ao estado inicial, não foi obtido um resultado concreto de como poderia ser elaborado esse sistema, pois a maioria dos raciocínios se mostravam ineficazes por meio da mola ou por outros aspectos presentes na estrutura, levando a elaborar algo mais complexo do que o esperado. Portanto, pelas limitações obtidas ao longo do desenvolvimento, espera-se como perspectiva futura um sistema mais bem elaborado, visando solucionar o problema da volta da mola para seu estado inicial, tendo em vista que, neste aspecto o atual projeto não foi capaz de alcançar tal objetivo. Desta forma, espera-se a construção do protótipo junto com o melhoramento do sistema citado, e a tentativa de diminuir o custo de desenvolvimento do protótipo. Pelos percalços descritos anteriormente, o protótipo não foi finalizado, mas permitiu o desenvolvimento da pesquisa, através da revisão bibliográfica, resultando em aprendizados teórico-metodológicos significativos para os estudantes e docentes envolvidos no projeto. Como compromisso acadêmico, a pesquisa serve de base para outros estudantes, docentes, administradores e trabalhadores das pedreiras locais.

Conclui-se que é possível obter-se certa padronização do corte de rochas, como granito, via artefato de automatização de quebra destas, o que vislumbra maior produtividade,

qualidade e segurança do trabalho. É visível ao decorrer do projeto as dificuldades encontradas, como a defasagem de materiais acadêmicos específicos sobre o corte manual de pedra, o tempo e limitação dos conhecimentos necessários para prosseguir para uma versão física do protótipo e o melhor desenvolvimento de alguns sistemas apresentados. Para o desenvolvimento da estrutura da máquina seriam necessários conhecimentos vindos do curso de mecânica, o que foge do objetivo do curso técnico em automação industrial, não sendo a área de atuação dos autores. Sendo assim espera-se, a partir deste material teórico, o desenvolvimento da estrutura e do sistema para a mola voltar ao seu estado inicial, visando também a diminuição do seu estimado preço de construção. Mesmo com as dificuldades encontradas ao decorrer do desenvolvimento do projeto, foi possível a partir das visitas técnicas, pesquisas em livros e artigos acadêmicos e conhecimentos em automação industrial, apresentar uma proposta de estudos na qual encontra-se uma possível solução. A ideia é que os futuros pesquisadores interessados no corte manual da pedra tenham um subsídio acadêmico, para que possam usar como referência.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Soraya; PORTO JR, Rubem. **Cantarias e pedreiras históricas do Rio de Janeiro:** instrumentos potenciais de divulgação das Ciências Geológicas. Terra e didática, v. 8, n. 1, p. 3-23, 2012. acesso em: 30 ago. 2023.

BRASIL. **Lei nº 13.975,** de 7 de janeiro de 2020. Política Nacional de Pagamento por Serviços Ambientais. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 2020. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L13975.htm\>. Acesso em: 01 set. 2023.

COSTA, Jersel Luciano. **Métodos e tecnologias empregadas nas pequenas pedreiras de granito**. Disponível em: <http://revistas.icesp.br/index.php/FINOM_Humanidade_Tecnologia /article/view/686>. Acesso em: 30 ago. 2023.

DE FARIA FILHO, Erlan Cesar. **Viabilidade econômica de aplicação das técnicas de corte de rochas ornamentais**: estudo comparativo. Disponível em: <https://oasisbr.ibict. br/vufind/ Record/UFMG_1d258245d157ea6b6a4c4b2108288839>. Acesso em: 10 ago. 2023.

DOS SANTOS SILVA, Marcus Vinicius; COSTA, Jesrael Luciano. **M**étodos e tecnologias empregadas nas pequenas pedreiras de granito. Humanidades e Tecnologia (finom), v. 16, n. 1, p. 522-533, 2019.

DURKHEIM, Émile. **Da divisão do trabalho social**. Trad. de Eduardo Brandão. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1999. (Coleção tópicos).

ELETROASTRO. 2023. **Chave fim de curso com alavanca**. Disponível em: <https://www.eletrorastro.com.br/produto/chave-de-fim-de-curso-mg-2606-1na-1nf-com-alavanca-curta-com-roldana-margirius-82757>. Acesso em: 17 nov. 2023.

FALCON ARMAS, 2023. **Mola de Ação**. Disponível em: <https://www.falconarmas. com.br/busca?viewList=g&pageNumber=3&pageSize=12&n=mola&n=mola&mdf=undefined&mdv=undefined>. Acesso em: 17 nov. 2023.

FREITAS, José Abílio Lima; ZANCAN, Marcos Daniel. **Eletricidade**. 3. ed. Santa Maria: Universidade Federal: Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2010.

FUNDACENTRO. **Estudo aponta precariedade nas instalações dos trabalhadores de marmorarias**. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/comunicacao/noticias/noticias/2016/5/estudo-aponta-precariedade-nas-instalacoes-dos-trabalhadores-de-marmorarias>.

Acesso em: 05 maio 2023.

_____. **Instituição publica 2. edição do manual sobre s**ílica. Disponível em: <https:// www.gov.br/fundacentro/pt-br/comunicacao/noticias/noticias/2010/6/instituicao-publica-2-edicao-do-manual-sobre-silica>. Acesso em: 10 maio 2023.

_____. **Prevenção e controle dos agentes ambientais em marmorarias**. Disponível em: <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/comunicacao/noticias/noticias /2008/7/prevencao-e-controle-dos-agentes-ambientais-em-marmorarias>. Acesso em: 20 jun. 2023.

HATTORI, Hélcio Yosaburo. **Modelagem 3D da estrutura ideal para o protótipo**. Modelagem no papel A4 da estrutura 3D. Posição dos sensores capacitivos. Posição indicada na base para posicionar o sensor de carga. Campo Largo: no prelo, 2023.

IBGE. **Classificação nacional de atividades econômicas**. Disponível em: <https://concla. ibge.gov.br/classificacoes/por-tema/atividades-economicas/classificacao-nacional-de-ativida des-economicas.html>. Acesso em: 05 maio 2023.

IDEMBURGO, Karina. **Estudo do corte de rochas ornamentais utilizando disco diamantado**. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/CMBC-8UHP56>. Acesso em: 15 jun. 2023.

KLEIN, Cornelis; DUTROW, Bárbara. **Manual da ciência dos minerais**. 23. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

LILO. **Motoredutor 0-25cv**. Disponível em: <https://www.liloredutores. com.br/Motoredutor-GSA-com-Motor-de-0-25cv-e-233rpm-Weg-Cestari-Geremia-Trifasico-G101N/prod-9671345 /?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAu9yqBhBmEiwAHTx5pwzmQElhfTVk 3uDriWdwiF20itVmtT f3nALkakCkkIFV7tDZvKmPqxoC84sQAvD_Bw>. Acesso em: 17 nov. 2023.

MACHADO, Ramires Ventura *et al.* **Utilização de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na correção da acidez e adubação de solos tropicais**. Disponível em: <https: // www.abq.org.br/cbq/2008/trabalhos/13/13-578-4959.htm>. Acesso em: 17 nov. 2023.

MAKER HERO. **Placa Arduino UNO**. Disponível em: https://www.makerhero.com/ produto/placa-uno-r3-cabo-usb-para-arduino/. Acesso em: 17 nov. 2023.

MARX, Karl. **O capital:** crítica da economia política. Livro I: o processo de produção do capital. São Paulo: Boitempo, 2013, p. 805-8.

MERCADO LIVRE. **Fuso Trapezoidal**. Disponível em: <https://lista.mercadolivre. com.br/ barra-fuso-trapezoidal. Acesso em: 17 nov. 2023.

METALCO. **Chapas de Aço Carbono**. Disponível em: <https://www.metalcometais. com.br/?gad_source=1&gclid=CjwKCAiAu9yqBhBmEiwAHTx5p4qRYli_VFyEY4AjBmaY9Z2Rr_TxDQV0ZBgrG0hlwF8NE1Jd3OYj4hoCosUQAvD_BwE>. Acesso em: 17 nov. 2023.

MHS ELÉTRICA. **Sensor Capacitivo**. Disponível em: <https://www.mhseletrica.com. br/para-sua-empresa/sensor-fotoeletrico/sensor-capacitivo-cr30-15dp-m30-pnp-na-15mm-12-24v-autonics>. Acesso em: 17 nov. 2023.

MINISTÉRIO da Ciência, Tecnologia e Inovação; gov.br. **Solução sustentável para resíduos de mármore**. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/ entregas/2021/solucao-sustentavel-para-residuos-de-marmore-1>. Acesso em: 01 ago. 2023.

MOREIRA, Ilo da Silva. **Sistemas hidráulicos industriais**. 2. ed. São Paulo: SENAI-editora, 2012.

MOULIN, Maria das Graças Barbosa *et al.* **O lado não polido do mármore e granito:** a produção social dos acidentes de trabalho e suas consequências no setor de rochas ornamentais no sul do Estado do Espírito Santo. 2006. Tese de Doutorado.

OBRAMAX. **Barra de Aço 10mm**. Disponível em: <https://www.obramax.com.br/ vergalhao-aco-nervurado-ca-50-10mm-3-8--barra-12m-89331886/p>. Acesso em: 17 nov. 2023.

OLIVEIRA, Carolina Nascimento de. **Aplicação de resíduos oriundos do corte de rochas ornamentais na produção de cosméticos**. Disponível em: <http://mineralis.cetem.gov.br/ bitstream/cetem/489/1/19-Carolina%20Nascimento%20de%20Oliveira.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2023.

POMEROL, Charles; LAGABRIELLE, Yves; RENARD, Maurice; GUILLOT, Stéphane. **Princípios de geologia: técnicas, modelos e teorias.** 14. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

PEREIRA, Ronaldo Mello. **Fundamentos de prospecção mineral**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

POLÍCIA FEDERAL. **PF combate mineração ilegal de granito no interior do Espírito Santo**. Disponível em: <https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/noticias/2022/ 02/pf-combate-mineracao-ilegal-de-granito-no-interior-do-espirito-santo>. Acesso em: 29 ago. 2023.

REDE D'OR, 2023. **Silicose**. Disponível em: <https://www.rededorsaoluiz.com.br/doencas / silicose>. Acesso em: 19 jul. 2023.

RIBEIRO, Marco Antônio. **Automação industrial**. Disponível em: <https://www.volti mum.com.br/ sites/www.voltimum.com.br/files/pdflibrary/02_livro_de_automacao_industrial.pdf>. Acesso em: 14 jun. 2023.

SGB, Serviço Geológico do Brasil - CPRM. **Rochas**. Disponível em: <https://www. sgb.gov.br/ publique/SGB-Divulga/Canal-Escola/Rochas-1107.html>. Acesso em: 19 set. 2023.

SIMIGRAN, Fiep. **Sindicato da indústria de mármores e granitos do estado do Paraná**. Disponível em: <https://www.fiepr.org.br/sindicatos/SimagranPR/a-entidade-1-3376-19608. shtml>. Acesso em: 25 jun. 2023.

SILVA, Emílio Carlos Nelli. **Apostila pneumática**. São Paulo: Departamento de engenharia mecatrônica e de sistemas mecânicos e de sistemas mecânicos da Poli (USP), 2002.

SCHUMANN, Walter. **Guia dos minerais:** características, ocorrência, utilização. Barueri, SP: DISAL, 2008.

TRIGINELLI, Daniel Handan. **Relações e condições de trabalho na extração de granito no município de vila pavão - ES:** compreender o trabalho para pensar a formação. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais Faculdade de Educação. Belo Horizonte.

UFSC. **Materioteca:** mármore e granito. Disponível em: <https://materioteca.paginas.ufsc.br/ marmore-e-granito/>. Acesso em: 09 set. 2023.

WEBER, Max. **A ética protestante e o espírito do capitalismo**. 13. ed. São Paulo: Pioneira, 1999, p. 28-33.

ZANELATTO, João Henrique; SERAFIM, Jhonata Goulart. **Experiências de trabalhadores na extração de pedras graníticas em Sangão 1960-1990**. Revista Mundos do Trabalho, vol. 2, n. 4, agosto-dezembro de 2010, p. 264-279.

ZATHURA Barramentos, 2023. **Botão Sinaleiro**. Disponível em: <https://www.za thurabarra-mentos.com.br/botao-sinaleiro-monobloco-220v-verde-ad1622dg-jng?gad_source =1&gclid=C-jwKCAiAu9yqBhBmEiwAHTx5p3Cz_eXz6itT9xXAIBqv0u5_vCM7jbT5Y64tDU7Whj7wZ1LDOE_ eDRoCZuYQAvD_BwE>. Acesso em: 17 nov. 2023.

Capítulo

05

A aplicação da tecnologia na melhoria dos processos de extração e transporte de areia e pedregulho

Evandro Tozzi Mendonça

Professor Especialista Evandro Tozzi Mendonça (Fatec Jahu – CPS)

Antônio Marcos Correa Pinto

Professor Especialista Antônio Marcos Correa Pinto (Fatec Jahu – CPS)

Dinorah Tercal da Rosa

Dinorah Tercal da Rosa Graduanda em Engenharia Naval (UFSC-Joinville)

RESUMO

O estudo abordado neste estudo traz as premissas para o desenvolvimento de um sistema a ser implantando nas embarcações utilizadas na mineração, visando otimizar os trabalhos de extração e transporte de areia e pedregulho. O consumo de areia e pedregulho estão intimamente ligados a construção civil, sendo que, a extração ainda ocorre na sua grande maioria por embarcações em rios de todo país utilizando basicamente o instinto e prática dos tripulantes. Para a realização deste estudo foi realizado uma revisão bibliográfica, mostrando a importância do uso da tecnologia nas empresas de modo a otimizar os processos, a pesquisa sobre as legislações e órgão governamentais envolvidos com o tema e a utilização do sistema global de posicionamento (GPS) aplicado. O sistema proposto busca utilizar o sistema GPS, alinhado as cartas náuticas e áreas autorizadas pelo órgão competente, armazenando e informando os últimos lugares onde a embarcação operou, tempos de viagem e extração e outras informações relevantes. Conclui se que o trabalho apresenta a estrutura necessária para o desenvolvimento do sistema em um futuro próximo e implantação de um projeto piloto em uma embarcação.

Palavras-chave: mineração; tecnologia; navegação; otimização; sistema.

ABSTRACT

The study addressed in this study presents the premises for the development of a system to be implemented in the vessels used in the mining, in order to optimize extraction and transportation of sand and gravel. The consumption of sand and gravel are closely linked to civil construction, being that, the extraction still occurs in its majority by vessels in rivers of all country using basically the crew's instinct. In order to carry out this study, a bibliographic review was carried out, showing the importance of the use of technology in companies in order to optimize processes, law's research

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.5

AYA Editora©

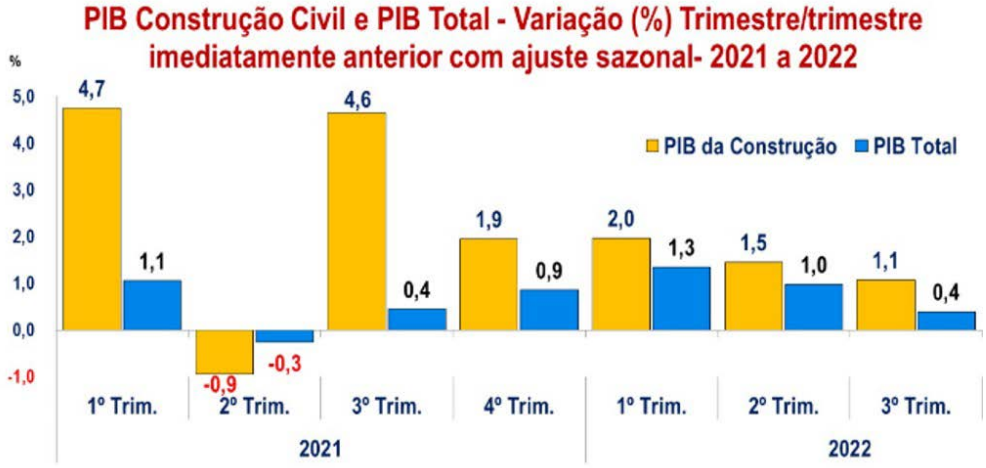
and government organization involved with the subject and the use of the global positioning system (GPS) applied. The proposed system seeks to use the GPS system, aligned with the nautical charts and areas authorized by the responsible organization, storing and informing the last places where the vessel operated, travel and extraction times and other relevant information. It is concluded that the work presents the necessary structure for the development of the system in the near future and implementation of a pilot project in a vessel.

Keywords: mining; technology; navigation; optimization; system.

INTRODUÇÃO

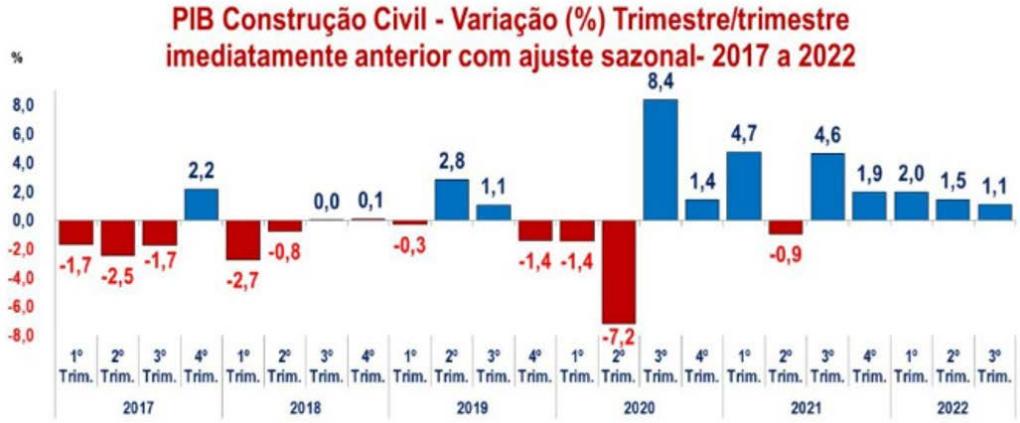
As atividades de mineração no Brasil, especialmente a extração de areia e pedregulho, continuam fortemente conectadas às flutuações do setor da construção civil. Após enfrentar uma significativa recessão econômica em meados da década de 2010, onde o produto interno bruto (PIB) da construção civil apresentou retrações de 6,5% em 2015 e 5,2% em 2016, conforme dados do instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) através da pesquisa das contas nacionais trimestrais, o setor demonstrou sinais de recuperação. Nos últimos cinco anos, a economia brasileira tem mostrado uma lenta recuperação, com o setor da construção civil começando a se estabilizar e apresentar crescimento gradual a partir de 2019. Segundo o IBGE, o PIB da construção civil cresceu cerca de 2% em 2019, indicando uma retomada, ainda que moderada, impulsionada por investimentos em infraestrutura e pelo aumento da confiança empresarial e do consumidor. Essa recuperação, entretanto, enfrentou desafios com a pandemia de covid-19 em 2020, que impactou negativamente a economia global, mas já mostra sinais de retomada nos anos subsequentes, com projeções mais otimistas para o crescimento do setor até o final de 2021 e ao longo de 2022.

Gráfico 1 - Evolução do PIB brasileiro e PIB da construção civil.



Fonte: Contas nacionais trimestrais – 3º trimestre de 2022, IBGE.

Gráfico 2 - evolução do PIB brasileiro e PIB da construção civil.



Fonte: Contas nacionais trimestrais – 3º trimestre de 2022, IBGE

No terceiro trimestre de 2022, a construção civil cresceu 1,1% em relação ao trimestre anterior, marcando a quinta elevação consecutiva do setor, que superou o crescimento do PIB total do Brasil. Este aumento foi maior do que o crescimento geral da economia nacional no mesmo período, que foi de 0,4%. Comparativamente, a construção civil também excedeu outros segmentos industriais, como a indústria geral (0,8%), a indústria extrativa (-0,1%), a indústrias de transformação (0,1%) e o setor de eletricidade, gás, água, esgoto e atividades de gestão de resíduos (0,6%).

No acumulado dos três primeiros trimestres de 2022, a construção civil cresceu 8,2%, contra 3,2% da economia nacional. Além disso, a taxa acumulada nos últimos quatro trimestres registrou alta de 8,8% no setor, comparado a 3,0% do crescimento nacional.

Segundo Ieda Vasconcelos, economista da Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC), destaca que os dados reforçam a contribuição do setor para a economia nacional, com impactos positivos na geração de emprego e renda, apesar das adversidades econômicas globais e políticas de juros altos no país.

Esta melhora no setor de construção civil, traz aos mineradores uma esperança de crescimento e de retomada nas vendas.

O presente trabalho apresenta, ainda de forma esquemática, a criação de uma ferramenta tecnológica para serem utilizadas nas embarcações empregadas nas atividades de extração e transporte de areia e pedregulho, visando otimizar as operações e claro, aumentar a rentabilidade dos negócios.

Para que isso possa ocorrer, Albertin (2016), cita que:

> A tecnologia de informação (TI) veio a este mercado tão competitivo para somar. E hoje é um dos componentes mais importantes do ambiente empresarial, sendo essencial para os três níveis da empresa (estratégico, tático e operacional), ressalta que o uso da TI deve estar relacionado com as necessidades da empresa, de forma que contribua para seu desempenho e lucratividade.

Este projeto busca, apesar de ainda não quantificada, trazer economia nos tempos operacionais e de transporte nas operações de extração de areia e pedregulho, afinal, segundo o boletim de conjuntura econômica da Confederação Nacional dos Transportes (CNT), o PIB do transporte brasileiro cresceu 2,6% em relação ao ano de 2022, sendo que

nos dois últimos anos já houve crescimento elevado de 12,9% em 2021 e 8,4% no ano de 2022, sendo que o PIB totalizou no ano de 2023 a marca de R$ 10,9 trilhões.

Objetivo

Demonstrar as diretrizes para elaboração de um projeto composto de um programa computacional para implementar nas embarcações empregadas na extração e transporte de areia e pedregulho.

Metodologia

O trabalho foi elaborado através de uma metodologia qualitativa onde através de entrevistas realizadas durante vistorias e inspeções navais, junto aos empresários do setor de mineração e aos próprios tripulantes das embarcações empregadas nesta atividade, relatam as dificuldades que vem tendo ao longo dos últimos anos devido à escassez natural do próprio material extraído, em especial a areia, e principalmente com falta da precisão dos locais os quais já foram dragados em um passado próximo o que implica em operações muito mais demoradas para o carregamento, viagens à pontos de extração cada vez mais distantes e até a invasão de áreas de extração autorizadas à outras empresas, gerando ainda conflitos.

O trabalho identifica ainda as tecnologias existentes no mercado para elaboração de um projeto para trazer melhorias a operação, reduzindo os tempos de operação, consumo de combustível e aumentando a rentabilidade do negócio.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo a Associação Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para Construção Civil (ANEPAC), a brita, areia e cascalho são as substâncias minerais mais consumidas no Brasil e no mundo para as obras de infraestrutura e edificações de residências, indústrias, rodovias e outras construções em alvenaria.

No mercado brasileiro são cerca de 2.500 empresas atuando na extração de areia que junto com as empresas de produção de brita, geram cerca de 75.000 empregos diretos e outros 250.000 indiretos.

No ano de 2023 foi marcado por mudanças administrativas em âmbitos estaduais e federais e complicações na Agência Nacional de Mineração. A fase de recuperação pós-pandêmica ainda mostra os mercados tentando se reorganizar após um período prolongado de crise, resultando em um crescimento modesto de 3% para o setor, atingindo 654 milhões de toneladas de agregados. Este crescimento, embora positivo, ainda não supera os impactos das crises econômicas anteriores, especialmente a de 2013-2014.

A expectativa de crescimento se mantém, impulsionada por programas governamentais como o PAC 3 e o novo marco legal do saneamento, que prometem estimular a demanda por agregados. No entanto, apesar de uma inflação surpreendentemente estável, há preocupações com a pressão inflacionária futura e uma desaceleração econômica que sugere um aumento moderado do PIB de apenas 1,6% em 2023. O setor prevê um

crescimento adicional de 5% em 2024, mas ainda enfrenta desafios para alcançar os níveis de produção pré-2010.

Além das perspectivas de crescimento, o setor de agregados é essencial para o desenvolvimento urbano, com 85% dos brasileiros vivendo em áreas urbanas segundo dados do IBGE. A expansão urbana demanda uma quantidade significativa de agregados para construção, tornando urgente a necessidade de um planejamento adequado das cidades e uma legislação que contemple o ordenamento territorial para mineração. A capacidade de investir em infraestrutura robusta, saneamento e habitação não apenas eleva as expectativas para o setor, mas também sugere um caminho para um crescimento sustentável, superando os desafios atuais e definindo um novo patamar para o futuro do setor de agregados no Brasil.

A produção destas duas substâncias no ano de 2022 foi de aproximadamente 374 milhões de toneladas de areia e 266 milhões de toneladas de brita, com faturamento estimado em R$ 34 bilhões, colocando a areia e a pedra britada no 1º e 2º lugar respectivamente no ranking da produção mineral brasileira, excetuando os minerais energéticos.

A extração mineral no Brasil é regulamentada pela Agência Nacional de Mineração (ANM) a qual foi criada pela Medida Provisória nº 791 de 25 de julho de 2017 substituindo o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). O DNPM era uma autarquia federal criada pela Lei número 8.876, de 2 de maio de 1994, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, dotada de personalidade jurídica de direito público, com autonomia patrimonial, administrativa e financeira, tem sede e foro em Brasília, Distrito Federal, e circunscrição em todo o território nacional.

O ANM tem como finalidade implementar as políticas nacionais para as atividades integrantes do setor de mineração, compreendidas a normatização, a gestão de informações e a fiscalização do aproveitamento dos recursos minerais no país, bem como promover o planejamento e o fomento da exploração mineral e do aproveitamento dos recursos minerais e superintender as pesquisas geológicas, minerais e de tecnologia mineral, bem como assegurar, controlar e fiscalizar o exercício das atividades de mineração em todo o território nacional, na forma do que dispõem o Código de Mineração, o Código de Águas Minerais, os respectivos regulamentos e a legislação que os complementa, dentro destes regulamentos, constam concessão de outorga para empresas mineradoras o direito a pesquisa e posterior extração de areia em áreas específicas.

As embarcações utilizadas para dragagem e os empurradores, devem atender requisitos técnicos para que recebam as certificações estatutárias previstas das normas da autoridade marítima brasileira.

A Norma da Autoridade Marítima Brasileira para Embarcações Empregadas na Navegação Interior (NORMAM 202/DPC), apresenta os requisitos de segurança, estabilidade, estanqueidade entre outros requisitos que as embarcações devem atender para que, após um processo de vistoria receba o Certificado de Segurança da Navegação (CSN), o Certificado Nacional de Borda-Livre (CNBL), o Certificado Nacional de Arqueação (CNA) e ainda o Cartão do Tripulação de Segurança (CTS), sendo que este último especifica a quantidade, a qualificação necessária para os profissionais, denominados tripulantes e

ainda, os locais de operação. Delimitando o trajeto e a distância navegada entre a sua instalação física, denominado Porto de Areia até o local de extração de areia, autorizado pelo antigo DNPM, hoje ANM.

É importante ressaltar que o custo do frete, acaba sendo determinante na distância máxima em que o produto mineral poderá chegar ao consumidor de forma econômica, sendo assim, determinada empresa a qual tem o seu percurso hidroviário aumentado para extração do material, acaba reduzindo o seu alcance na região a qual atua, pois, este custo será agregado ao custo do transporte rodoviário que fará a entrega ao consumidor final.

Segundo Ballou (1993), as tomadas de decisões que envolvem o transporte e os seus modais, juntamente com a localização do seu centro de distribuição e estoque são fatores preponderantes para o planejamento e redução do custo do produto, afirma ainda, que o custo de transporte está diretamente relacionado ao ponto de partida, até seu destino. O custo do transporte está relacionado com o embarque no ponto inicial e ao seu desembarque no destino e a agregação de valores nesta etapa.

Segundo Nogueira (2016), o processo de extração de areia normalmente é realizado em dois tipos de operações de lavra, dependendo do tipo de depósito: desmonte hidráulico ou dragagem hidráulica em leitos submersos.

A dragagem hidráulica é generalizada para qualquer tipo de mineração onde o material retirado está sob um leito d'agua. A extração de areia por dragagem é caracterizada por um sistema de bombeamento que realiza a sucção do material do leito do rio, juntamente com a água que utilizada para o transporte do material. Este material é depositado temporariamente no porão de carga de dragas, sem sistemas de propulsão, onde o sistema de bombeamento estão instalados, e por consequência o deslocamento destas barcaças se dão com o auxílio de empurradores. Outra alternativa é utilização de dragas autopropulsadas, que além de possuir o sistema de bombeamento e armazenamento, também possuem o sistema de propulsão para que estas naveguem pelos cursos d'água. As figuras 1 e 2 apresentam um conjunto de draga com empurrador e uma draga autopropulsada.

Figura 1 - Draga de extração de areia carregada navegando pelo rio Tietê em comboio com empurrador.

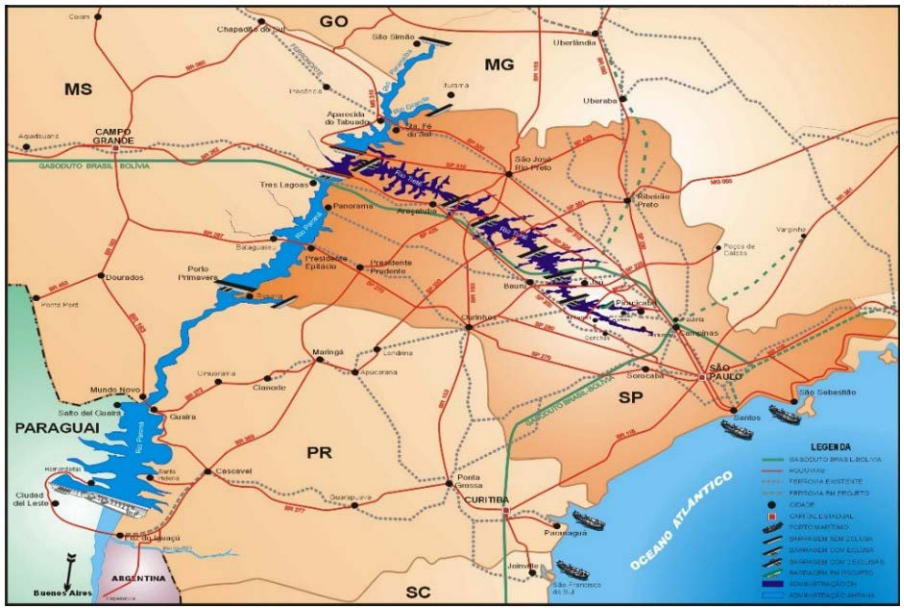
Fonte: autor (2023).

Figura 2 - draga de extração de areia autopropulsada carregada navegando pelo rio Paraná.

Fonte: autor (2024).

Em grande parte dos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Paraná e Mato Grosso do Sul, em especial as regiões próximas aos rios Tietê, Paraná, Piracicaba, Grande e Paranaíba, que formam a Hidrovia Tietê-Paraná, a extração de areia que se dá nestas áreas ocorrem conforme descrito anteriormente, com embarcações propulsadas ou com conjuntos de dragas autopropulsadas ou sem propulsão operando com empurradores. Em toda esta região, há um grande número de empresas que vem enfrentando as dificuldades relatadas neste trabalho e são potenciais utilizadores deste projeto em desenvolvimento. A figura 3 ilustra os principais rios.

Figura 3 - Mapa com os principais rios da Hidrovia Tietê-Paraná.



Fonte: Departamento Hidroviário da Secretaria de Transporte e Logística de São Paulo (2024).

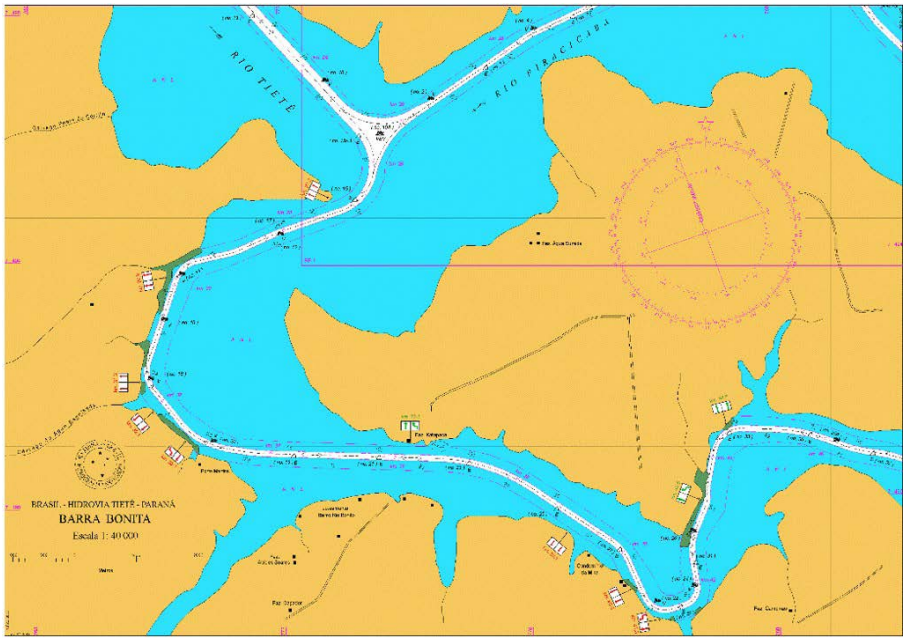
A busca pela precisão na navegação e consequente operação de dragagem pelas embarcações nos dias atuais, são realizadas através de cartas náuticas e sistemas de

posicionamento global (GPS).

Segundo Barros (2016) Carta Náutica nada mais é do que uma representação plana de um trecho da superfície da terra. Tal representação, obviamente, será em uma escala conveniente e por ser náutica, apresentará a parte de águas e de litoral, com muito maiores informações do que um mapa que se ocupa quase que unicamente, da parte terrestre da superfície de nosso planeta.

A Carta Náutica além de possibilitar a visualização de nossa posição e do rumo em que navegamos, dá também informações sobre perigos, profundidades e auxílios que permitem um navegar mais seguro da embarcação. A figura 4 apresenta um trecho cartografado da hidrovia Tietê-Paraná pelo Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil.

Figura 4 - Carta Náutica BB-03 Atlas 2800.



Fonte: Centro de Hidrografia da Marinha do Brasil (2013).

O GPS foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, originalmente para fins militares, liberado com restrições para o uso civil em 1977, e desde então vem sendo aprimorado, principalmente ao diz respeito aos aparelhos eletrônicos e programas computacionais. O sistema foi projetado para se obter o posicionamento instantâneo bem como a velocidade de um ponto na superfície da terra ou próximo a ela.

Nesta concepção, a união das cartas náuticas juntamente com o sistema GPS, podem trazer benefícios as operações de dragagem conforme proposto neste trabalho.

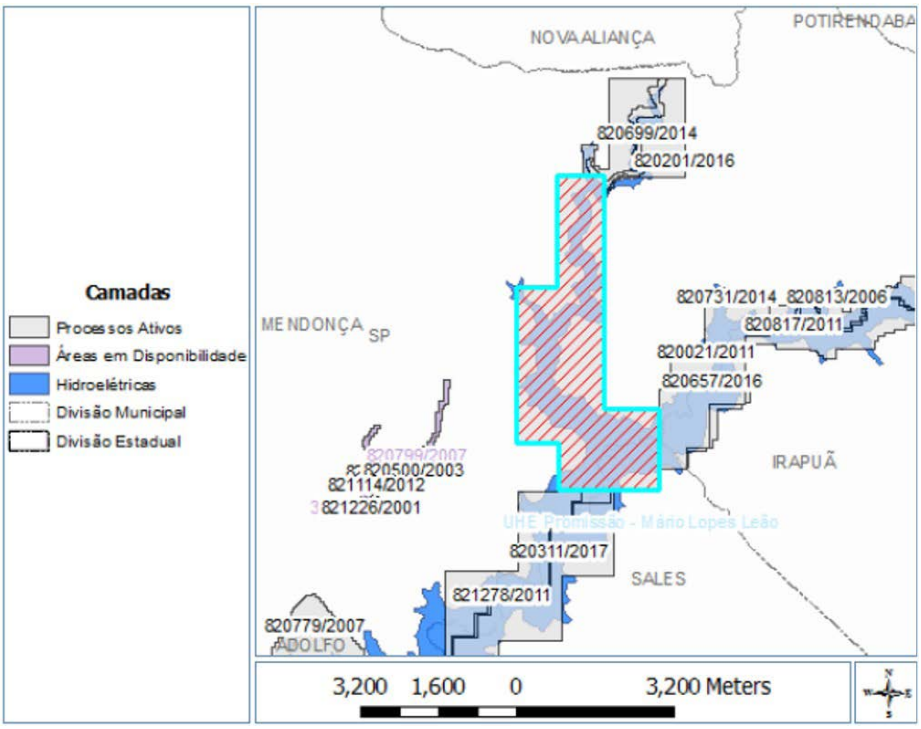
RESULTADOS E DISCUSSÕES

A operação das embarcações para a extração de areia hoje se dá basicamente pela experiência e vivência dos tripulantes em determinada região onde opera. As informações obtidas quando questionados sobre os locais onde tem autorização para a extração de areia são basicamente: “até 10 quilômetros para baixo”, quando quer se referir que a extração de areia ocorre a jusante do porto de areia, ou algo como “em torno de 5 quilômetros para

cima", quando quer se referir que a operação será realizada a montante.

As áreas autorizadas pelo ANM (antigo DNPM), são polígonos formados por coordenadas geográficas (latitude/longitude), as quais acabam delimitando uma área, e não um ponto de extração conforme normalmente identificado pelos tripulantes. A figura 5 apresenta a poligonal, nome utilizado para definir a área autorizada para determinada empresa explorar a extração de areia.

Figura 5 - Poligonal disponibilizada pelo ANM (antigo DNPM) referente a área de extração autorizada à uma empresa de mineração.

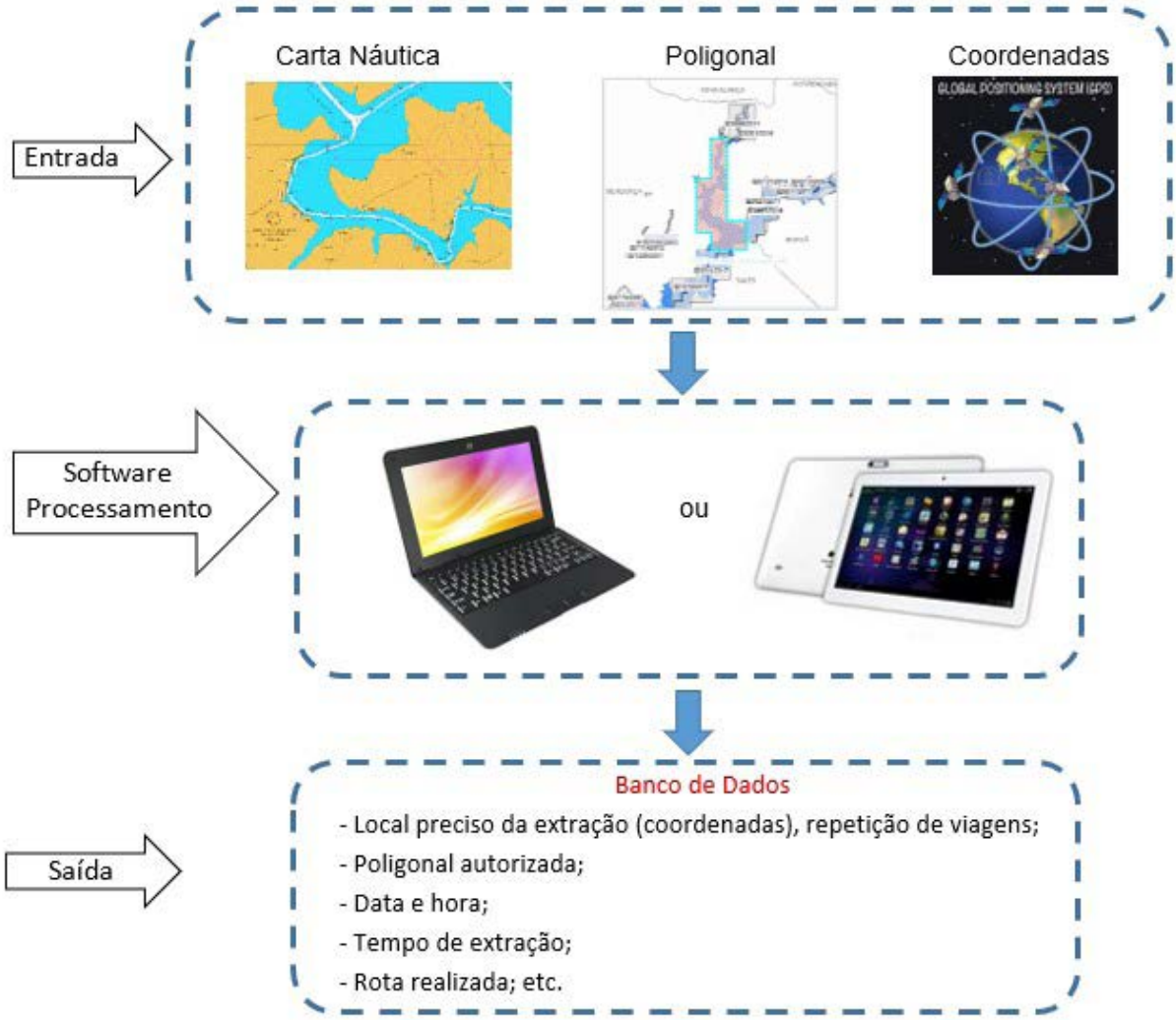


Fonte: Agência Nacional de Mineração (2024)

Este sentimento dos tripulantes aliado a falta de um equipamento adequado o qual possa auxiliá-lo a encontrar a localização correta onde as a operações estão sendo realizadas, faz, conforme já mencionado anteriormente, que a operação acabe sendo realizada em locais repetidos com muita frequência sem que haja uma reposição natural do material, fazendo com que nas operações subsequentes o tempo de extração seja maior devido à falta da areia no local.

O sistema proposto neste projeto, conforme estruturado na figura 6, visa relacionar através de um software a ser desenvolvido para funcionar em um notebook ou tablet o qual teria além das cartas náuticas, as informações da poligonal autorizada pelo ANM (antigo DNPM), e ainda conectado a um sistema GPS.

Figura 6 - Estrutura proposta para o sistema a ser desenvolvido.



Fonte: autores (2024).

Através da obtenção dos dados das viagens e extrações, poderá ser gerada informações para viagens futuras, inclusive com alertas na tela do notebook ou tablet, indicando a quantidade de vezes que aquela área já foi utilizada para extração de areia, quando foi a última vez que a embarcação operou naquela determinada área e volumes já extraídos.

Outras informações gerenciais importantes poderão ser extraídas, como os locais onde a operação ocorreu mais rapidamente e eventualmente poderia ser até informado o tipo de areia extraído naquele local, se areia era fina, grossa ou média.

Outras informações ainda poderiam ser extraídas deste banco de dados, como qual equipe de tripulante estaria sendo mais eficiente nas operações.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo revelou ser perfeitamente possível a implementação de um sistema para auxiliar as embarcações empregadas nas operações de extração e transporte de areia.

Outro ponto importante é assegurar que a extração esteja ocorrendo somente nos locais autorizados, preservando ambientalmente as demais áreas.

Apesar da proposta utilizar tecnologias simples, existentes e utilizadas frequentemente em várias áreas, o software traria uma inovação tecnológica para este setor que normalmente utilizam embarcações caras, porém sem uma tecnologia que possa trazer ganho operacional.

O desenvolvimento de uma sistema baseado no contido neste artigo poderá ainda integrar ares multidisciplinares, envolvendo uma rede de pesquisa entre as áreas de engenharia, tecnologia da informação entre outras.

Um projeto piloto poderia ser instalado em uma das centenas de empresas de extração de areia existentes na área da Hidrovia Tietê-Paraná e após validado, poderia ser colocado no mercado.

REFERÊNCIAS

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas**. Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisa_resultados.php?indicador=1&id_pesquisa=53>. Acesso em: 20 de abril de 2024.

ALBERTIN, A.L. **Tecnologia de informação e desempenho empresarial,** Grupo Gen-Atlas, 2016.

CNT. **Confederação Nacional do Transporte.** Disponível em:< https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em 10 de abril de 2024.

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial: Transporte, Administração de Materiais e Distribuição Física** / Ronald H. Ballou; tradução Hugo T. Y. Yoshizaki – São Paulo: Atlas, 1993.

BARROS, Geraldo L. Miranda de, **Navegar é Fácil** , 14ª Edição Revista e Ampliada,, Editora Catedral das Letras, 2016

CÂMARA Brasileira da Indústria da Construção **(CBIC).** Disponível em <https://cbic.org.br/construcao-civil-cresce-11-e-supera-crescimento-da-economia-nacional/>. Acesso em 5 de abril de 2024.

CAMPOS, A.C. **Tendências da Cartografia: Noções de Geodésia**. Cartografia Básica. São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, CESAD. 2007. p 237- 338.

FITZ P. R. **Cartografia básica**. Canoas: La Salle, 2000.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas.** Noções básicas de Cartografia. Manuais Técnicos em Geociência. Nº8, 1989.

NOGUEIRA, Geovane R. F. **A extração de areia em cursos d'água e seus impactos: proposição de uma matriz de interação**, TCC na Universidade de Engenharia de Juiz de Fora/MG, 2016

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA, Casa Civil, Medida Provisória nº 791 de 25 de julho de 2017.

Capítulo

06

Eficiência energética aplicado a sistemas de iluminação

Energy efficiency applied to lighting systems

João Vitor de Oliveira Valerio
Vinícius Souza Silva
Leonardo Tomaz Veraszta
Mauro da Silva Santos
Professor orientador

RESUMO

Este trabalho aborda a importância da eficiência energética aplicada a sistemasde iluminação, onde ela é crucial para reduzir o consumo de energia e os custos associados, além de contribuir para a sustentabilidade ambiental tanto no contexto industrial como educacional. Tendo em vista, que a substituição de lâmpadas incandescentes e fluorescentes por tecnologias mais eficientes, como lâmpadas LED,é uma estratégia comum para alcançar esse objetivo. Estratégias de design e gestão,como o uso de sensores de presença e luminosidade, também desempenham um papel importante na maximização da eficiência. Programas de certificação, como o LEED, incentivam a implementação de práticas de eficiência energética em edifícios,incluindo sistemas de iluminação.

Palavras-chave:eficiência energética; automação industrial; sistemas de iluminação; tecnologias; sustentabilidade.

ABSTRACT

This work addresses the importance of energy efficiency applied to lighting systems, where it is crucial to reducing energy consumption and associated costs, aswell as contributing to environmental sustainability in both industrial and educational contexts. The replacement of incandescent and fluorescent lamps with more efficient technologies, such as LED lamps, is a common strategy for achieving this goal. Designand management strategies, such as the use of presence and light sensors, also playan important role in maximizing efficiency. Certification programs, such as LEED, encourage the implementation of energy-efficient practices in buildings, including lighting systems.

Keywords: energy efficiency; industrial automation; lighting systems; technologies;sustainability.

INTRODUÇÃO

A eficiência energética aplicada a sistemas de iluminação é uma estratégia crucial para reduzir o consumo de energia e os custos associados, além de contribuir significativamente para a sustentabilidade ambiental. A iluminação representa uma parcela substancial do consumo de energia em edifícios comerciais e residenciais, tornando-se um alvo primordial para melhorias eficientes.

Uma abordagem comum para melhorar a eficiência energética da iluminação é a substituição de lâmpadas incandescentes e fluorescentes por tecnologias mais eficientes, como lâmpadas LED. As lâmpadas LED consomem significativamente menos energia, têm uma vida útil mais longa e oferecem opções de controle de intensidade, o que permite uma redução adicional no consumo de energia.

Além da escolha da tecnologia de iluminação, estratégias de design e gestão desempenham um papel crucial na maximização da eficiência energética. Isso inclui o uso de sensores de presença e luminosidade para ajustar a iluminação conforme necessário, a implementação de sistemas de controle centralizado e a otimização do layout e da orientação das luminárias para aproveitar ao máximo a luz natural.

Programas de certificação, como o LEED (Leadership in Energy and Environmental Design), incentivam a implementação de práticas de eficiência energética em edifícios, incluindo sistemas de iluminação. Esses programas promovem não apenas a redução do consumo de energia, mas também considerações ambientais mais amplas, como a qualidade do ambiente interno e o uso de materiais sustentáveis.

Em resumo, a eficiência energética aplicada a sistemas de iluminação é essencial para reduzir o consumo de energia, os custos operacionais e as emissões de gases de efeito estufa associadas à iluminação artificial. Investir em tecnologias eestratégias eficientes não apenas beneficia as organizações em termos financeiros, mas também contribui para a proteção do meio ambiente e o desenvolvimento de espaços mais sustentáveis.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Automação industrial vs automatização

Atualmente na indústria, os termos “automação industrial” e “automatização” são frequentemente utilizados, porém, possuem significados distintos. Desta forma se faz necessário definir esses conceitos, destacando suas diferenças e semelhanças, bem como discutir suas aplicações e implicações na indústria (Costa; Lisboa; Santos, 2003).

Automação industrial refere-se ao uso de sistemas e tecnologias para controlar processos industriais, substituindo ou auxiliando a intervenção humana em tarefas repetitivas, perigosas ou de alta precisão. Este conceito engloba a aplicação de máquinas, sensores, atuadores e sistemas de controle para executar operações de forma autônoma, visando aumentar a eficiência, a produtividade e a segurança dosprocessos industriais. A automação industrial pode ser implementada em diversos setores, incluindo manufatura, automotivo,

químico, petroquímico, entre outros. Exemplos comuns de sistemas automatizados incluem linhas de produção robotizadas, sistemas de controle de processos por computador (SCADA), e sistemasde automação de fábrica (FMS) (Costa; Lisboa; Santos, 2003).

A automatização, por outro lado refere-se à simplificação ou eliminação de tarefas manuais por meio do uso de dispositivos mecânicos, elétricos ou eletrônicos. Embora a automatização muitas vezes envolva a introdução de sistemas automatizados, seu escopo é mais amplo, incluindo também processos e procedimentos que são simplificados para reduzir a dependência da intervenção humana. A automatização pode ser observada em diversas áreas, desde o acionamento automático de portas e sistemas de iluminação em edifícios até a implementação de dispositivos de segurança em veículos automotivos. Embora a automatização possa não ser tão abrangente quanto a automação industrial, ela desempenha um papel importante na simplificação de tarefas e na melhoria da eficiência em diversos contextos (Costa; Lisboa; Santos, 2003).

Contudo é importante destacar que a automação industrial é um subconjunto da automatização, focado especificamente na aplicação de tecnologias para controlar processos industriais. Enquanto a automatização abrange uma variedade de domíniose pode incluir tanto sistemas industriais quanto não industriais. Ambos os conceitos compartilham o objetivo comum de aumentar a eficiência, a produtividade e a segurança, ao reduzir a dependência da intervenção humana em processos repetitivos ou perigosos. No entanto, a automação industrial tende a ser mais complexa e abrangente, envolvendo a integração de sistemas de controle avançadose tecnologias específicas para atender às necessidades dos processos industriais (Costa; Lisboa; Santos, 2003).

Desta forma, enquanto a automação industrial se concentra na aplicação de sistemas e tecnologias para controlar processos industriais, a automatização é um conceito que engloba a simplificação ou eliminação de tarefas manuais em diversos contextos. Ambos os conceitos desempenham um papel fundamental na transformação da indústria moderna, impulsionando a eficiência, a produtividade e a segurança dos processos industriais e operações em geral.

Iluminação eficiente: o caminho para a sustentabilidade energética

Atualmente, a eficiência energética emergiu como uma prioridade global, impulsionada pela crescente conscientização sobre as mudanças climáticas e a necessidade de preservar os recursos naturais. Um dos setores-chave onde essa eficiência pode ser alcançada de forma significativa é a iluminação. Com avanços tecnológicos contínuos e uma mudança de mentalidade em direção à sustentabilidade, a iluminação eficiente tornou-se uma pedra angular para alcançar metas ambientais e econômicas.

O impacto da iluminação ineficiente

A iluminação ineficiente tem sido historicamente um grande desperdício de energia. Lâmpadas incandescentes e fluorescentes tradicionais consomem eletricidade em excesso e têm uma vida útil limitada. Além disso, essas lâmpadas emitem calor excessivo, o que pode aumentar a carga nos sistemas de ar- condicionado, levando a um ciclo de consumo de energia ainda maior.

Outro ponto crucial é a luz artificial desperdiçada. Muitas vezes, a iluminação é mal projetada ou mal utilizada, resultando em luz excessiva ou direcionada incorretamente. Isso não apenas aumenta os custos de energia, mas também contribui para a poluição luminosa, prejudicando ecossistemas naturais e perturbandoos ritmos circadianos de animais e seres humanos.

Avanços em tecnologia de iluminação

Felizmente, avanços significativos na tecnologia de iluminação oferecem soluções promissoras para esses desafios. A transição gradual para fontes de luz mais eficientes, como lâmpadas LED (Light Emitting Diode), tem sido um marco importante. As lâmpadas LED consomem significativamente menos energia do que suas contrapartes tradicionais, enquanto oferecem uma vida útil muito mais longa e uma qualidade de luz superior.

Além disso, os controles de iluminação inteligentes estão se tornando cada vez mais populares. Sensores de movimento, temporizadores e sistemas de gerenciamento centralizado permitem um uso mais eficiente da iluminação, adaptando-a às necessidades específicas de cada ambiente e reduzindo o desperdício de energia.

Benefícios da iluminação eficiente

Os benefícios da iluminação eficiente vão além da simples economia de energia. Ao nível ambiental, a redução do consumo de eletricidade diminui as emissões de gases de efeito estufa e ajuda a mitigar os impactos das mudanças climáticas. Além disso, a iluminação eficiente pode contribuir para a conservação de recursos naturais,como a redução da extração de combustíveis fósseis e materiais utilizados nafabricação de lâmpadas.

Do ponto de vista econômico, a iluminação eficiente oferece uma vantagem significativa em termos de custos operacionais a longo prazo. Embora o investimentoinicial em tecnologias mais eficientes possa ser maior, os custos de manutenção e substituição são reduzidos, resultando em economias substanciais ao longo do tempo.Além disso, muitas jurisdições oferecem incentivos e subsídios para a adoção de práticas de iluminação eficiente, tornando o retorno sobre o investimento ainda maisatraente.

Implementação e desafios

Apesar dos benefícios claros, a implementação generalizada da iluminação eficiente ainda enfrenta desafios. Um dos principais obstáculos é a resistência à mudança, tanto por parte dos consumidores quanto das indústrias. Muitas vezes, o custo inicial mais elevado das tecnologias eficientes pode dissuadir os investidores, especialmente em regiões onde os incentivos governamentais são limitados.

Além disso, a falta de conscientização e educação sobre os benefícios da iluminação eficiente pode ser um obstáculo significativo. A disseminação de informações sobre tecnologias disponíveis, retorno sobre o investimento e impactos ambientais pode ajudar a superar essas barreiras e incentivar uma adoção mais ampla.

Aplicação prática – mezanino

Vamos considerar a aplicação prática da eficiência energética no mezanino da faculdade. Onde aqui está os procedimentos e resultados:

Objetivo: Reduzir o consumo de energia e os custos associados à iluminação do mezanino, mantendo níveis adequados de luminosidade para as atividades realizadas.

Procedimentos

a. Auditoria Energética: Realizar uma auditoria energética detalhada para identificar áreas de desperdício e oportunidades de melhoria na iluminação.

b. Substituição de Lâmpadas: Substituir todas as lâmpadas incandescentes e fluorescentes por lâmpadas LED de alta eficiência energética. Isso inclui lâmpadas de teto, luminárias de mesa e iluminação de áreas comuns.

c. Instalação de Sensores: Implementar sensores no mezanino para garantir que as luzes sejam ligadas apenas quando necessário. Além disso, instalar sensores de luminosidade para ajustar automaticamente a intensidade da iluminação com base na luz natural disponível.

d. Controle Centralizado: Instalar um sistema de controle centralizado na sala da atlética, que permita programar horários de iluminação e ajustar as configurações remotamente para otimizar o uso de energia.

e. Educação e Conscientização: Promover a conscientização entre os alunos e professores sobre a importância da eficiência energética e fornecer orientações sobre como podem contribuir, como desligar as luzes quando não estiverem em uso e ajustar as configurações de iluminação conforme necessário.

Resultados

a. Redução Significativa no Consumo de Energia: Após a implementação das medidas de eficiência energética, observa-se uma redução significativa no consumo de energia relacionado à iluminação, muitas vezes chegando a 50% ou mais.

b. Economia Financeira: A redução no consumo de energia resulta em uma diminuição correspondente nos custos de eletricidade, gerando economias financeiras substanciais para a faculdade ao longo do tempo.

c. Melhoria do Ambiente de Trabalho: Com a iluminação mais eficiente e confortável, os alunos e professores relatam uma melhoria no ambiente de trabalho, com menos fadiga visual e maior produtividade.

d. Impacto Ambiental Positivo: A redução no consumo de energia também se traduz em uma diminuição das emissões de gases de efeito estufa e outros impactos ambientais associados à geração de eletricidade.

Em resumo, a aplicação prática da eficiência energética em sistemas de iluminação resulta em benefícios tangíveis, incluindo economia de custos, melhoria do ambiente de trabalho e contribuição para a sustentabilidade ambiental.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A iluminação eficiente é um componente essencial na busca por uma sustentabilidade energética global. Com tecnologias avançadas e uma mudança de mentalidade em direção a práticas mais sustentáveis, há um potencial significativo para reduzir o consumo de energia, diminuir os impactos ambientais e gerar economias substanciais. No entanto, é crucial superar os desafios existentes epromover uma adoção mais ampla dessas práticas para colher os benefícios plenos da iluminação eficiente.

Desta forma os experimentos práticos propostos neste estudo proporcionaram aos estudantes uma oportunidade valiosa de aprender sobre como ter uma eficiênciaenergética nos sistemas de iluminação, onde, os alunos puderam adquirir conhecimentos teóricos e habilidades práticas essenciais para sua formação profissional na área de automação industrial. Portanto, enfatiza-se a importância de incluir atividades práticas no ensino de tecnologias industriais, a fim de preparar os estudantes para os desafios do mercado de trabalho e promover o avanço da indústria4.0.

REFERÊNCIAS

COSTA, I.M.;LISBOA, S. N. D.; SANTOS, T. P. **Automação Industrial**, mai. 2003.Disponível em: https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_15_doc.doc Acesso em: 23 mar. 2024.

COSTA, J. dos S.; ANDRADE JUNIOR, L. M. L. de. **Energy efficiency applied to electricity consumption: A bibliographic review study**. Research, Society and Development, *[S. l.]*, v. 10, n. 4, p. e26210414085, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i4.14085. Disponível em: https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/14085.Acesso em: 5/abril/ 2024.

FATEC OSASCO. **Automação Industrial**. Disponível em https://fatecosasco.edu.br/osasco/index.php/automacao-industrial/.Acesso em: 5/abril/2024.

LIMA FILHO, D L. **A universidade tecnológica e sua relação com o ensino médio e a educação superior**: discutindo a identidade e o futuro dos CEFETs. Perspectiva [online]. 2005, vol.23, n.02, pp.349-380.Acesso em: 5/abril/2024.

Capítulo

07

Pluviômetro automatizado com monitoramento em tempo real

João Victor Nunes Bombarda

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso http://lattes.cnpq.br/3820572925336306

Arthur Moraes e Videira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, http://lattes.cnpq.br/1078410815808674

Willians Ribeiro Mendes

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, http://lattes.cnpq.br/3447942477539493

Flavilene da Silva Souza

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, http://lattes.cnpq.br/2816128273240286

Tiago Rossato Muraro

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, http://lattes.cnpq.br/3106748326625265

Claudinilson Alves Luczkiewicz

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, http://lattes.cnpq.br/1056426756102014

RESUMO

O pluviômetro é um equipamento de grande relevância no meio rural, sendo responsável por monitorar a quantidade de chuvas ocorridas em um determinado período. Ter conhecimento sobre a precipitação pluviométrica é de fundamental importância para o produtor rural, pois, a água é um recurso essencial em todas as etapas do cultivo, desde o monitoramento para ser liberado o plantio até o seu completo desenvolvimento e colheita. Atualmente são poucas opções de pluviômetros oferecidas no mercado, além do preço de custo elevado e muitas vezes vinculado a uma assinatura anual. Surge então como proposta o pluviômetro automatizado que conta com integração a internet das coisas (IoT), oferecendo um monitoramento confiável e com menor custo e possuindo alimentação com módulos fotovoltaicos, banco de baterias e visualização remota via web ou aplicativo mobile. Neste estudo será discutido uma metodologia para construção de um pluviômetro tipo balde basculante de baixo custo será projetado e construído. Nos testes de calibração e validação do equipamento proposto observou-se uma precisão satisfatória de 97 % dos valores de precipitação pluviométrica, assim como, o correto funcionamento do seu sistema de energia, do envio de informações e a visualização via web e aplicativo.

Palavras-chave: precipitação; pluviômetro; IOT; supervisório.

AYA Editora©

INTRODUÇÃO

O Brasil tem importante destaque, quando relacionado a América Latina, sendo um dos maiores produtores mundiais de alimento e com grande extensão de terra para a utilização agropecuária. Porém, esse potencial de expansão dos campos é afetado pelas preocupações ambientais e preservação das vegetações nativas (Saath e Fachinello, 2018).

Parte dessas terras possuem funções ecológicas importantes que seriam prejudicadas, além de que, essas áreas estão em grande parte localizadas em alguns países da América Latina e da África Subsaariana, com obstáculos naturais para logística e falta de infraestrutura, sofrendo assim limitações em seu aproveitamento.

Frente a essas restrições de crescimento dos campos produtivos, o aperfeiçoamento da produtividade é um caminho fundamental para ampliar a oferta de alimentos. Esse ganho de produção é obtido através de vários fatores como: manejo correto do solo, utilização de insumos de qualidade, manejo integrado de pragas, manejo de plantas daninhas, mecanização da propriedade, agricultura de precisão e outros (Silva, 2020).

A água é um recurso finito e fundamental no cultivo das culturas. Antes da semeadura já é iniciado seu monitoramento, visando uma quantidade mínima para que possa começar o plantio. Ao decorrer de todo o ciclo de desenvolvimento a água é indispensável para o pleno desenvolvimento da cultura. Sendo assim, extremamente necessário o monitoramento desse recurso, para que se tenha as decisões corretas, como por exemplo, decidir quando iniciar o cultivo da cultura ou quando é necessário suprir a falta de água proveniente das chuvas, por meio da irrigação com uso de pivôs.

Os pluviômetros, equipamentos que realizam esse monitoramento das precipitações de chuva ocorrida em determinado período, e indicar através de sua escala linear, a quantidade da precipitação pluviométrica em mm. A quantidade de precipitação deve ser conferida no local do equipamento, registrada e em seguida, descartada, para que possa mensurar novamente a próxima precipitação (Vinãs, 2022).

Apesar da sua importância, o pluviômetro é um equipamento que já está em uso a muitos anos pela humanidade, e consequentemente vem sendo aperfeiçoado no decorrer do tempo. Alguns autores creditam ao Rei Munjong da Coreia, o desenvolvimento do primeiro medidor de chuva, cuja intenção era aperfeiçoar as técnicas agrícolas e fornecer aos seus súditos comida de boa qualidade. Em 1441, ao realizar medições no palácio ele notou que seria mais adequado usar um recipiente padrão em contrapartida de cavar a terra para conferir os níveis de água (Alemão, 2021).

Com o avanço da eletrônica e da tecnologia, através da comunicação IoT (Internet of Things), os pluviômetros apresentaram grandes avanços em seu funcionamento, como por exemplo, o uso de um microcontrolador, que tornou possível a leitura, processamento e envio de informações remotas, evitando custos de deslocamentos, tempo e mão de obra, antes destacados para realização dessa tarefa (Sokolova, 2021).

O custo relativamente alto de pluviômetros comerciais, sistemas de comunicação e software de pós-processamento é a principal razão pela qual a coleta dos valores de precipitação e a densidade da rede de monitoramento ainda é um desafio, especialmente

nos países em desenvolvimento (Ferreira *et al.,* 2017).

Os últimos avanços no sensor de hardware e software de código aberto de baixo custo e nas plataformas eletrônicas, juntamente com os custos reduzidos e a precisão aprimorada das impressoras 3D, permitem projetar, desenvolver e implantar equipamentos de medição personalizados de baixo custo.

Neste estudo será discutido uma metodologia para construção de um pluviômetro tipo balde basculante de baixo custo será projetado e construído. A eletrônica e o software do medidor utilizaram um microcontrolador de código aberto, com o corpo do medidor impresso em uma impressora 3D usando uma tecnologia de fabricação de filamentos fundidos e um polímero termoplástico.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Precipitação

A precipitação é definida como: toda água proveniente da atmosfera que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo e orvalho são algumas de suas diferentes formas. Podemos diferenciar os tipos de precipitação considerando o estado em que a água é depositada (Tucci, 2004).

A altura pluviométrica representa a medida da altura formada por uma lâmina de água acumulada sobre uma superfície plana, horizontal e impermeável. Geralmente é expressa em milímetros, sendo determinada através dos aparelhos conhecidos como pluviômetros (Junior, 2022). Quando dizemos que choveu 10 mm por exemplo, isso significa que em uma área de 1m² choveu o suficiente para que fosse formada uma lâmina de água sobre toda essa área, tendo essa lâmina uma altura de 10 mm.

Um critério que se pode utilizar para classificar as precipitações é quanto a sua intensidade. Desta forma, as chuvas podem ser dividias em 3 tipos: chuva fraca, chuva moderada e chuva forte.

É considerada chuva fraca a precipitação de até 2,5 mm por hora, caracterizada por gotas isoladas, identificadas facilmente, quando ocorre de forma uniforme é definida como garoa. Já para chuvas entre 2,5 e 7,5 mm por hora, podem ser classificadas como chuva moderada, sendo formadas também por gotas isolada, porém, apresentam dificuldade para serem observadas. Por fim, as precipitações com intensidade superior a 7,5 mm por hora, são consideradas chuva forte, caracteriza-se por cair em forma de “lençóis”, não possibilitando a identificação de gotas isoladas (Reichardt, 1990).

Irrigação

A irrigação é uma prática agrícola capaz de suprir a deficiência total ou parcial de água para as culturas. São utilizadas técnicas e equipamentos próprios para esse manejo, visando fornecer água de forma artificial, assegurando a produção da lavoura mesmo em caso de escassez de precipitações (Santoro, 2020). Os principais tipos de irrigação atuais são a superficial, a localizada e a aspersão (Santos, 2023).

Realizando um comparativo entre áreas, é possível perceber a vantagem da irrigação, sendo, a produção média de 1ha de qualquer cultura irrigada em torno de duas a quatro vezes a produção de cultivos em áreas com baixo índice pluviométrico, dessa forma, a irrigação diminui a pressão por desmatamento de novas áreas para que se tenha uma produção maior (Lopes e Pedroso, 2017).

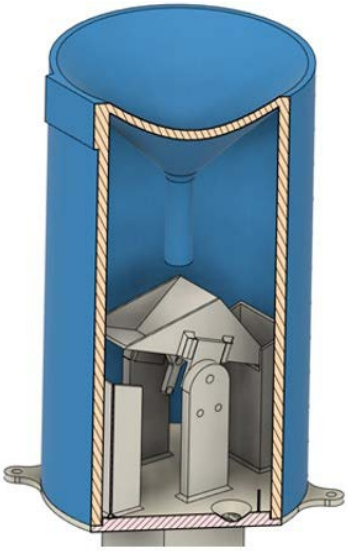
A medição da chuva é fundamental para o manejo da irrigação, pois permite que os agricultores saibam quando e quanto irrigar, sendo o pluviômetro o equipamento responsável por realizar a medição da precipitação em determinado local (Lopes *et al.,* 2004).

Pluviômetros

Pluviômetro é um equipamento responsável por medir a chuva que ocorre em um ponto geográfico em determinado momento, convencionalmente expressa como altura pluviométrica em milímetros (Ferreira *et al.,* 2017).

Segundo Tucci (2004) existem duas maneiras de medir a precipitação pluviométrica: espacialmente, utilizando os radares e pontualmente, utilizando pluviômetros e pluviógrafos. Pluviômetros (Figura 1) e pluviógrafos se diferem quanto a forma de coleta de dados, a leitura do pluviômetro é feita de forma manual, já o pluviógrafos realiza o registro de forma gráfica.

Figura 1 - Pluviômetro.



Fonte: Autor (2023)

Segundo Menezes (2019) os três tipos mais utilizados de pluviômetros automáticos são:

- Pluviômetro flutuador: Realiza a medição relacionando a variação do nível de água em um recipiente, através de um flutuador, que é ligado diretamente ao mecanismo de registro.
- Pluviômetro de balança: Funciona por meio da captação da água, que em seguida é pesada de forma automática, em uma balança. Por fim, após a pesagem a água é descartada do equipamento.

- Pluviômetro automático do tipo báscula: Esse equipamento, é formado por um coletor que direciona a água para um sistema de duas básculas de mesmo volume. Quando uma báscula se enche, automaticamente, ela vira para esvaziar e a outra báscula passa a receber água.

Nesse modelo de pluviômetro os dados são enviados diretamente ao sistema de monitoramento, não sendo necessário um operador para realizar a leitura (Milanesi *et al.,* 2017).

Segundo Calder e Kidd (1978), esse modelo de pluviômetro apresenta um valor de erro em sua precisão, isso ocorre devido ao fato, que certa quantidade de água é perdida no momento de tempo em que uma báscula dá lugar a outra, para que comece a receber água novamente.

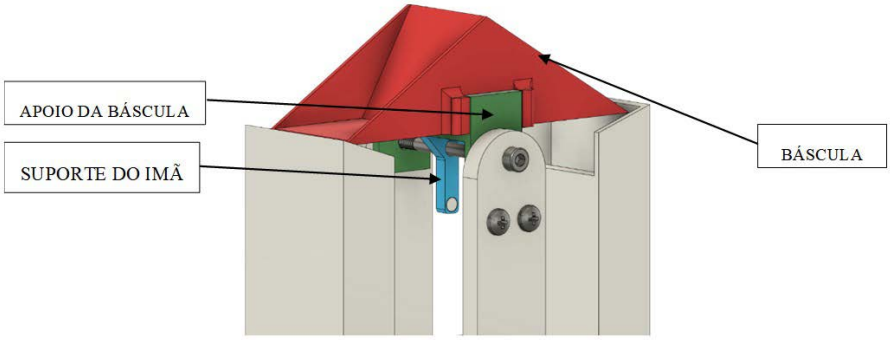
Desse modo, quanto maior for a intensidade da precipitação, maior seria a perda de água. Consequentemente será cada vez mais significativa a subestimativa da quantidade de chuva medida.

MÉTODOS

Desenvolvimento do design - Projeto

O pluviômetro foi projetado através do software Autodesk Fusion 360 (licença estudantil). Foram projetadas inicialmente suas peças internas, sendo elas, a báscula, responsável por armazenar e direcionar a água, o suporte da báscula, encarregado de apoiar a báscula e garantir seu movimento de inclinação em volta do eixo do parafuso, por fim o suporte do imã, que une o imã a estrutura do apoio da báscula, e garante a sincronia de seu movimento com o conjunto (Figura 2).

Figura 2- Báscula, apoio da báscula e suporte do imã.



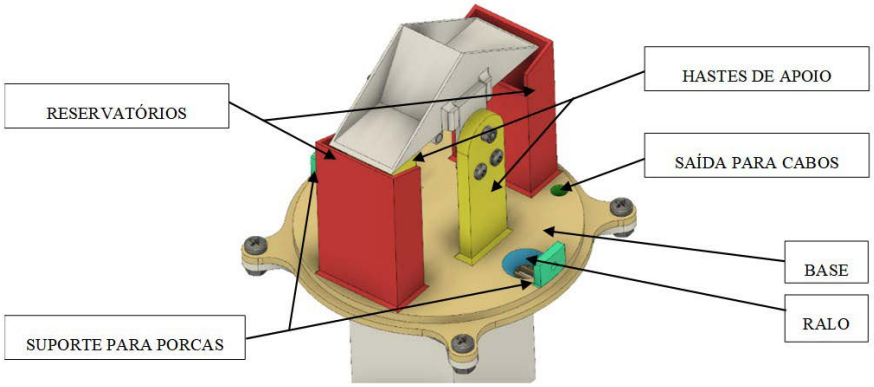
Fonte: Autor (2023).

Após definidas os componentes internos, foi projetada a base, onde está localizada as hastes que fornecem apoio ao suporte da báscula e os reservatórios por onde a água escorrerá para fora do pluviômetro após ser capitada pelo recipiente da báscula.

Na base também foram projetados dois suportes, para posicionamento das porcas que serão responsáveis pela fixação do copo, dois ralos projetados para captar a água que não se direcionou aos reservatórios de escoamento, e uma saída para os cabos de

alimentação e de dados (Figura 3).

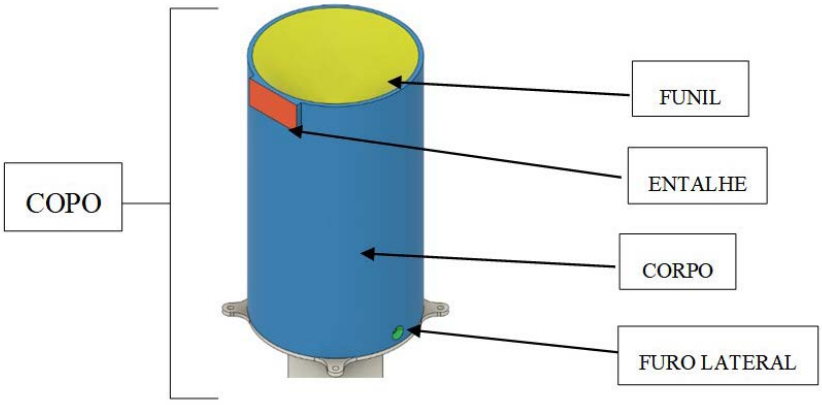
Figura 3 - Componentes da base.



Fonte: Autor (2023).

O copo do pluviômetro foi desenvolvido visando a capitação da precipitação, assim como, a proteção do interior do pluviômetro de intempéries, e vedação em conjunto com a base. Sendo a peça em formato cilíndrico, composta pela abertura em formato de funil na parte superior, entalhe na parte frontal para identificação e furação nas laterais para fixação na base (Figura 4).

Figura 4 - Componentes do copo.

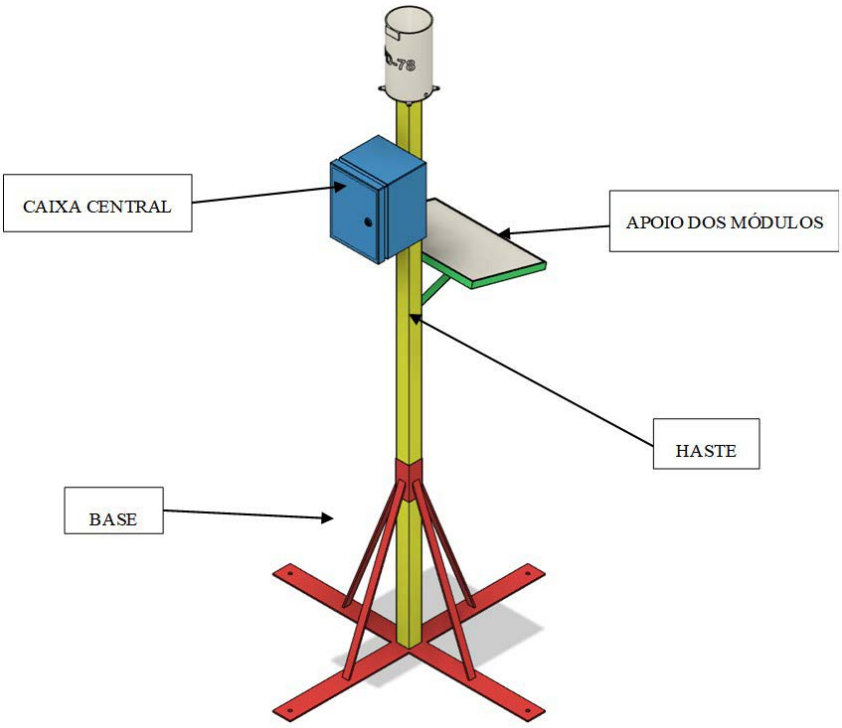


Fonte: Autor (2023).

A projeção da estrutura de fixação também foi desenvolvida no software Fusion 360, é composta por 3 elementos, a base, a haste e o apoio das placas solares. A base é formada por uma estrutura em formato de “X” visando fixar toda a estrutura no solo. A parte superior da base é formada por um tubo que é apoiado por 4 barras chatas de sustentação.

Por fim, finalizando as estruturas de suporte do pluviômetro e seus complementos, tem-se, o apoio do modulo solar e a caixa central que armazena o sistema de bateria, controle de carga e processamento e envio de informações, o conjunto completo pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Componentes da estrutura de apoio e complementos.



Fonte: Autor (2023).

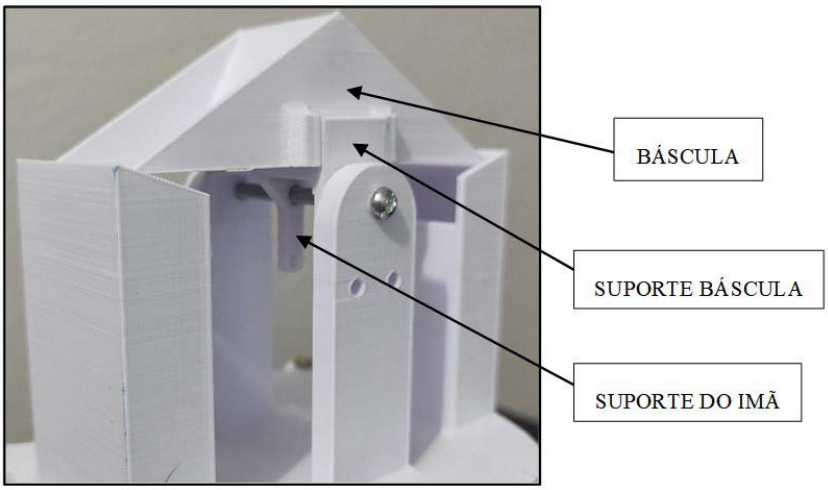
O tubo foi projetado para fornecer apoio a haste, evitando que ela penda em alguma direção. A haste é formada por uma barra de 40 mm x 40 mm, tendo um 1,5 m de comprimento, sendo responsável por fornecer pontos de fixação para o apoio dos módulos. Em sua posição recolhida, o pluviômetro fica a 1694 mm do solo, sendo em sua posição estendida uma distância máxima de 2044 mm.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Fabricação das peças

Após a simulação e configuração da fabricação das peças, iniciou-se o processo de produção dos elementos do pluviômetro, seguindo a respectiva ordem da projeção. As peças foram fabricadas com filamento termoplástico composto por ácido poliláctico (PLA). Foram produzidos primeiramente os componentes internos, iniciando-se pela báscula, apoio da báscula e apoio do imã (Figura 6). Concluída a produção das peças, fixou-se o imã ao seu suporte.

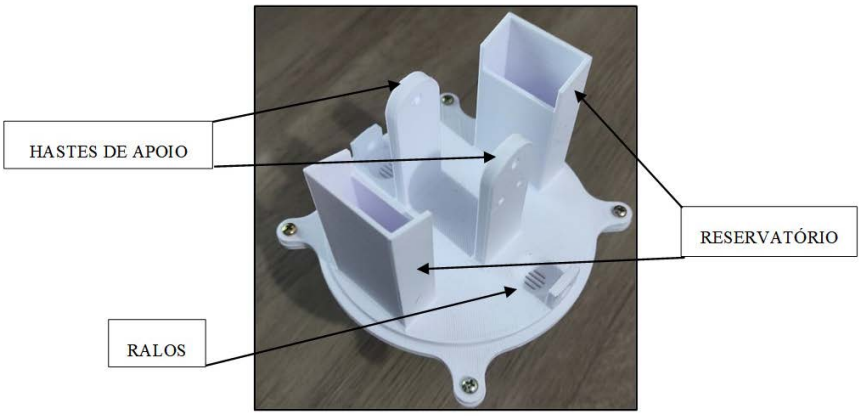
Figura 6 - Conjunto báscula, apoio da báscula e apoio do imã.



Fonte: Autor (2023).

Em sequência, foi produzida a estrutura da base, composta pelos seguintes componentes, hastes de apoio, reservatórios, suporte para porcas, ralos de escoamento e saída dos cabos (Figura 7). Todos os elementos foram impressos de uma única vez, para que obtivessem melhor resistência mecânica, evitando assim, que precisassem ser colados posteriormente.

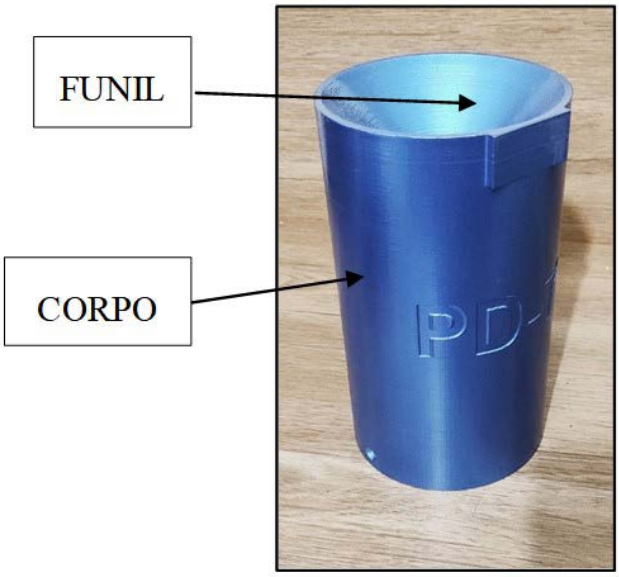
Figura 7- Componentes da base.



Fonte: Autor (2023).

Posteriormente, foi construído o copo atendendo as suas características físicas e funções definidas na etapa de projeção, proteção da parte interna e captação da água da chuva, por exemplo. O copo é formado pelos seguintes componentes, corpo, funil, entalhe e furos laterais (Figura 8).

Figura 8 - Copo.



Fonte: Autor (2023).

Finalizado a fabricação do conjunto do pluviômetro, seguiu-se para a fabricação da estrutura de apoio (Figura 9).

Figura 9 - Estrutura de apoio fabricada.

Fonte: Autor (2023).

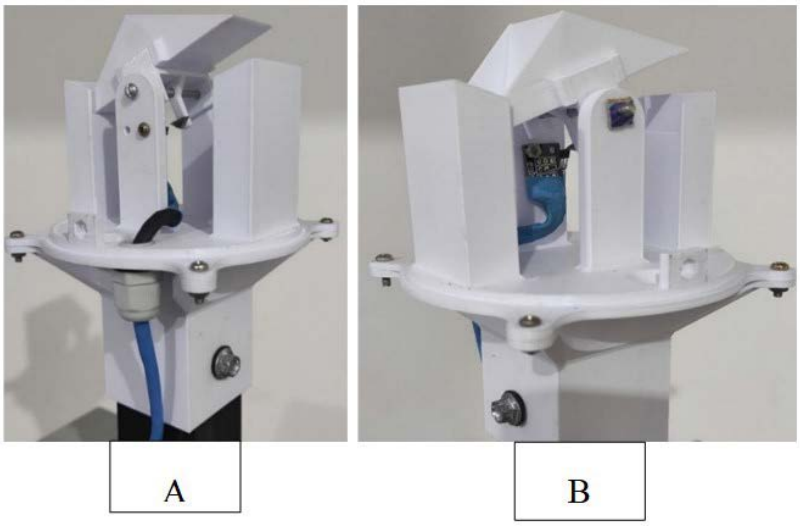
A produção do arranjo utilizou aço de diversos formatos, no apoio das placas solares foram utilizadas cantoneiras e uma barra chata, para a haste e para o apoio da base utilizou-se metalon e para o restante da estrutura da base optou-se por utilizar também barra chata. Após a etapa de soldagem, foi realizada a pintura, finalizando assim a fabricação da estrutura de apoio.

Montagem do Conjunto

Conforme as etapas anteriores, a montagem também teve início a partir dos componentes internos do protótipo. Primeiramente foi realizado o processo de fixação do suporte do imã na parte inferior do apoio da báscula, em seguida, fixou-se a báscula na parte superior de seu apoio.

O sensor magnético foi preso a haste direita de apoio com o uso de parafusos, adiante, foram conectados seus cabos de dados e de alimentação e foram fixados de modo a facilitar sua saída através da saída localizada na base. A báscula foi colocada em seu eixo, que é formado por um parafuso posicionado nas hastes de apoio. Todo esse conjunto de ações teve como resultado os elementos que estão ilustrados nas figuras 09(A) e 09(B).

Figura 9 - Componentes internos - A) cabo; B) sensor.



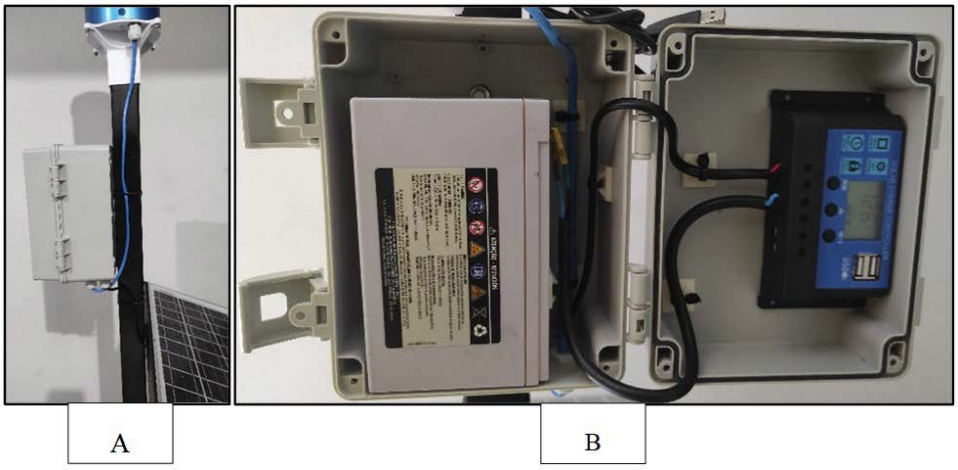
Fonte: Autor (2023).

Completada a etapa do interior segue-se para o fechamento do pluviômetro por meio do encaixe da tampa com sua base através da fixação de duas porcas no interior do pluviômetro, que ao receber a tampa são então rosqueados dois parafusos, um em cada lado com sua respectiva porca fixada. Em sequência, são realizados o posicionamento e o travamento da base do pluviômetro com a estrutura de fixação.

Após o posicionamento e o travamento dos componentes citados, é realizada a passagem dos cabos. Primeiramente o cabo vindo do pluviômetro é preso a estrutura de apoio e segue até a parte inferior da caixa central, onde acessa seu interior através de uma prensa cabo.

Do mesmo modo, o cabo originado do modulo solar é preso a haste de apoio, e percorre a estrutura até chegar à caixa central, onde adentra seu interior por meio de outra prensa cabo, posicionado atrás do primeiro, citado anteriormente. A passagem e fixação dos cabos são ilustrados na Figura 10(A). Posteriormente, a controladora é fixada no fundo da tampa da caixa central, em seguida, a bateria é fixada na parte interna da caixa, ambas são coladas utilizando fita dupla face, esse processo é ilustrado na Figura 10(B).

Figura 10 - Passagem dos cabos e fixação da bateria e controladora, A) Cabeamento; B) Fixação.



Fonte: Autor (2023).

A última etapa da montagem é adicionar o microcontrolador dentro da caixa e posicioná-lo na parte superior da bateria, e realizar as ligações referente ao microcontrolador, bateria e placa solar na controladora de carga. Assim como a soldagem dos cabos vindos do sensor no ESP32. Primeiramente são conectados os polos positivo e negativo da bateria, por meio de 2 fios, nas entradas identificadas para bateria na controladora, na entrada positiva e negativa respectivamente.

É necessário que sempre seja ligado a bateria a controladora de carga, para que, ela possa identificar o banco de baterias e realizar os ajustes para trabalhar na tensão de 12 V ou 24 V. O cabo do modulo solar é conectado também através dos fios positivo e negativo, nas entradas marcadas para conexão positiva e negativa dos painéis na controladora respectivamente.

Na sequência, os cabos do sensor são soldados no microcontrolador, conectando seus fios positivo, negativo e dados, nos pinos do ESP 32, *ground* (negativo), Vin (positivo) e IO14, respectivamente. Por fim, é conectado o ESP32 na controladora de carga através da porta USB. Optou-se pela ligação desse modo, pois, facilita o acesso da placa no local, através de um notebook por exemplo, a tensão de saída já estar no nível compatível com o ESP (5 volts), não sendo necessário utilizar um circuito ou modulo para adequar a tensão na saída da controladora.

Após concluída a etapa de montagem, o pluviômetro está finalizado e em operação, o equipamento completo é ilustrado na figura 11.

Figura 11 - Pluviômetro automatizado com monitoramento.

Fonte: Autor (2023).

Calibração e validação do pluviômetro

Como citado anteriormente, o volume de chuva captado pelo pluviômetro é expresso em milímetros (mm) convencionalmente conhecido como altura pluviométrica, pois corresponde à altura de lâmina de água que cobre uma área correspondente a 1 m². Para encontrar a relação entre a quantidade de chuva em 1 m² e a quantidade captada pelo pluviômetro é preciso relacionar a captação da precipitação pluviométrica com a área de abertura do recipiente responsável por captar a água da chuva, calculado de acordo com o tamanho da abertura do recipiente de captação.

Como a medida no pluviômetro é realizada a cada pulso, é preciso saber quantos pulsos representa cada sinal emitido pelo sensor. Primeiramente calculamos a área da abertura de captação do pluviômetro, e em seguida multiplicamos pela altura da lâmina (Equação 1), para então encontrar o volume captado de precipitação que corresponde à altura pluviométrica de 1 mm;

$$\text{Volume} = \text{Área} \times \text{Altura} \qquad (1)$$

onde, o volume é expresso em m³, a área em m² e a altura em m.

O valor encontrado utilizando a equação 1, foi de 7,854 ml que corresponde a 1 mm, ou seja, a cada 7,854 ml captados pelo pluviômetro, ele deverá indicar o valor de 1 mm.

Encontrada essa relação, agora relacionamos esse valor com a quantidade de pulsos contabilizados pelo equipamento. Para isso, adicionamos a quantidade de água corresponde a 1 mm (7,854 ml) ao pluviômetro, e verificar quantos pulsos ele irá contabilizar.

Ao adicionar a água ao pluviômetro, foi verificado constatou-se dois movimentos com sua báscula. Desse modo, podemos verificar que ao adicionar a quantidade corresponde a 1mm o pluviômetro contabiliza 2 pulsos, dividindo 1mm para dois pulsos, obtemos 0,5 mm, ou seja, cada pulso contabilizado corresponde a 0,5 mm de precipitação. Após encontrar a relação entre a precipitação e a altura pluviométrica marcada pelo pluviômetro finaliza-se a calibração.

Segue-se então para a verificação de validação dos valores medidos pelo equipamento.

O teste de validação utilizou os seguintes itens:

- Proveta graduada em vidro com suporte;
- Balança de precisão Marte AD500;
- Bureta graduada em vidro;
- Pipeta graduada;
- Cronometro;

O valor de 7,854 ml não é possível encontrar com precisão nas vidrarias disponíveis, dessa forma, faz se necessário encontrar o mesmo de outro modo. Para resolver essa situação foi utilizada a Equação (2) da densidade,

$$\text{Densidade} = \text{Massa}/\ \text{Volume} \qquad (2)$$

onde a densidade é expressa em kg/m³, a massa em kg e o volume em m³.

Inserindo o valor da densidade e do volume na equação 1, obtemos o valor da massa, sendo 7,830 g. Em posse do valor encontrado, é possível utilizar uma balança de precisão para que se adicione essa quantidade de massa, que correspondera ao volume de 7,854 ml descrito anteriormente.

Foi realizado um estudo sobre o índice pluviométrico na região de Primavera do Leste, Mato Grosso, referente ao ano de 2022. Durante a busca, verificou-se no site do INMET, Instituto Nacional de Meteorologia (portal.inmet.gov.br/), que o menor valor de precipitação ocorrido no município foi de 0,2 mm/h, e o maior valor registrado foi 27 mm/h.

Devido ao fato de o pluviômetro desenvolvido ter uma resolução de 0,5 mm, definiu-se que os seguintes valores para teste de validação, 0,5 mm/h, pois é o valor mais perto do menor valor registrado; 27 mm/h pois, é o maior valor registrado no ano anterior; e por fim, 5 mm/h (chuva moderada) e 10 mm/h (chuva forte) para completar o conjunto de valores (Tabela 01).

Tabela 1 - Classificação das faixas de medição.

CLASSIFICAÇÃO DAS FAIXAS DE MEDIÇÃO	
Intensidade (mm/h)	**Descrição da chuva**
0,5	Chuva fraca, e menor valor contabilizado em Primavera do Leste
5	Chuva moderada
10	Chuva forte
27	Chuva forte, e maior calor contabilizado em Primavera do Leste

Fonte: Autor (2023).

Na sequência, foram definidas nove medições para cada um dos valores estabelecidos anteriormente (0,5 mm/h; 5mm/h; 10 mm/h e 27 mm/h). Desse modo, podemos estabelecer um método de validação, ao compararmos os valores medidos com os valores calculados anteriormente, e assim encontrar a precisão do equipamento.

Após realizadas os nove testes, foi então calculada a média do grupo, estabelecendo assim uma precisão para cada faixa de valor. Em seguida foram realizadas as medições de todos os conjuntos de valores, e calculada a média, por fim, foi calculada uma média geral, que corresponde à média da soma dos valores da média dos grupos.

Podemos observar na Tabela 2 os nove valores medidos para a intensidade de 0,5 mm/h, tendo sua média do grupo em 100%.

Tabela 2 - Valores para a intensidade de 0,5 mm/h.

PRECIPITAÇÃO COM 0,5 mm/h					
TESTE	**Volume (mL)**	**Tempo (h)**	**PRECIPITAÇÃO CALCULADA (mm)**	**PRECIPITAÇÃO MEDIDA (mm)**	**PRECISÃO (%)**
1	3,927	1,000	0,500	0,500	100,000
2	3,927	1,000	0,500	0,500	100,000
3	3,927	1,000	0,500	0,500	100,000
4	3,927	1,000	0,500	0,500	100,000
5	3,927	1,000	0,500	0,500	100,000
6	3,927	1,000	0,500	0,500	100,000
7	3,927	1,000	0,500	0,500	100,000
8	3,927	1,000	0,500	0,500	100,000
9	3,927	1,000	0,500	0,500	100,000
MÉDIA DO GRUPO					100,000

Fonte: Autor (2023).

Na sequência, foram realizados os testes para a intensidade de 5 mm/h. Podemos observar na Tabela 3 os nove valores medidos para a intensidade de 5 mm/h, tendo sua média do grupo em 96,667%.

Tabela 3 - Valores para a intensidade de 5 mm/h.

PRECIPITAÇÃO COM 5 mm/h					
TESTE	Volume (mL)	Tempo (h)	PRECIPITAÇÃO CALCULADA (mm)	PRECIPITAÇÃO MEDIDA (mm)	PRECISÃO (%)
1	39,270	1,000	5,000	4,500	90,000
2	39,270	1,000	5,000	4,500	90,000
3	39,270	1,000	5,000	5,000	100,000
4	39,270	1,000	5,000	5,000	100,000
5	39,270	1,000	5,000	5,000	100,000
6	39,270	1,000	5,000	5,000	100,000
7	39,270	1,000	5,000	4,500	90,000
8	39,270	1,000	5,000	5,000	100,000
9	39,270	1,000	5,000	5,000	100,000
MÉDIA DO GRUPO					96,667

Fonte: Autor (2023).

Adiante, realizou-se os testes para a intensidade de 10 mm/h. Podemos observar na Tabela 4 os nove valores medidos para a intensidade de 10 mm/h, tendo sua média do grupo em 96,111%.

Tabela 4 - Valores para a intensidade de 10 mm/h.

PRECIPITAÇÃO COM 10 mm/h					
TESTE	Volume (mL)	Tempo (h)	PRECIPITAÇÃO CALCULADA (mm)	PRECIPITAÇÃO MEDIDA (mm)	PRECISÃO (%)
1	78,540	1,000	10,000	10,000	100,000
2	78,540	1,000	10,000	9,500	95,000
3	78,540	1,000	10,000	10,000	100,000
4	78,540	1,000	10,000	9,500	95,000
5	78,540	1,000	10,000	9,000	90,000
6	78,540	1,000	10,000	10,000	100,000
7	78,540	1,000	10,000	9,000	90,000
8	78,540	1,000	10,000	9,500	95,000
9	78,540	1,000	10,000	10,000	100,000
MÉDIA DO GRUPO					96,111

Fonte: Autor (2023).

Posteriormente, foi realizado o último grupo de testes, que correspondem aos valores para a intensidade de 27 mm/h. Podemos observar na Tabela 5 os nove valores medidos para a intensidade de 27 mm/h, tendo sua média do grupo em 96,111%.

Tabela 5 - Valores para a intensidade de 27 mm/h.

PRECIPITAÇÃO COM 27 mm/h					
TESTE	Volume (mL)	Tempo (h)	PRECIPITAÇÃO CALCULADA (mm)	PRECIPITAÇÃO MEDIDA (mm)	PRECISÃO (%)
1	212,058	1,000	27,000	26,000	96,296
2	212,058	1,000	27,000	26,500	98,148
3	212,058	1,000	27,000	25,500	94,444
4	212,058	1,000	27,000	25,500	94,444
5	212,058	1,000	27,000	25,500	94,444
6	212,058	1,000	27,000	25,500	94,444
7	212,058	1,000	27,000	26,000	96,296
8	212,058	1,000	27,000	25,500	94,444
9	212,058	1,000	27,000	26,000	96,296
MÉDIA DO GRUPO					95,473

Fonte: Autor (2023).

Por fim, foi calculada a média geral, obtida por meio da soma das médias dos grupos obtidas anteriormente. O valor da média geral de precisão do pluviômetro automatizado foi de aproximadamente 97 %. Os dados citados podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 - Média geral do pluviômetro automatizado.

GRUPO	MÉDIA DO GRUPO (%)
0,5,mm/h	100,000
5 mm/h	96,667
10 mm/h	96,111
27 mm/h	95,473
MÉDIA GERAL	97,063

Fonte: Autor (2023).

Diante da precisão verificada na Tabela 6, não se fez necessário uma nova etapa de calibração, visto que o processo utilizado para relacionar a precipitação com os valores captados pelo pluviômetro já alcançou valores satisfatórios, comprovados durante a execução dos testes de validação. Assim como, os valores encontrados estão em acordo com as afirmações de Calder e Kidd (1978), citadas anteriormente, que descrevem que é característico dos pluviômetros do tipo de báscula, que com o aumento da intensidade da precipitação, sua precisão seja afetada, subestimando assim o valor medido chuva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando os resultados obtidos, conclui-se que o objetivo principal proposto, que era desenvolver um pluviômetro digital com monitoramento em tempo real, foi atingido com sucesso.

O parâmetro de monitoramento (precipitação pluviométrica) foi medido de forma satisfatória apresentado bons resultados nos testes realizados durante a validação do protótipo, atingindo 97% de precisão. Os valores registrados são visualizados em tempo real através do site, como também, via aplicativo mobile.

O pluviômetro apresenta um bom custo-benefício em relação aos concorrentes atuais, considerando seu grau de precisão, seu custo de produção relativamente baixo e o fato de não ser necessário uma assinatura de serviço como em grande parte dos produtos atualmente disponíveis.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, porém, alguns pontos em contrapartida merecem destaque. O processo de impressão 3D FDM tem a grande vantagem da criação e personalização da peça de acordo com o projeto, contudo, é um processo longo de produção, e que deve ser executado com atenção, pois, as peças podem apresentar defeitos caso não sejam bem-posicionadas na programação ou caso a impressora não esteja calibrada corretamente.

Deve-se atentar também ao material escolhido para a impressão das peças, visto que grande parte dos filamentos, dentre eles o PLA, é sensível a temperatura e são danificados quando expostos ao ambiente e a luz solar por um período longo, sofrendo ressecamento e tornando-se quebradiços.

Devido à época de construção do projeto coincidir com o período sem chuvas, não foi possível realizar testes em campo. Desse modo, foram realizados apenas testes em laboratório. Portanto, não foi possível avaliar o funcionamento do equipamento em condições reais, sujeito as condições ambientes, como ventos, poeira etc.

REFERÊNCIAS

ALEMÃO, Portillo. **Pluviômetro**. Meteorologia en Vermelho, 03/02/2021. Disponível em: <https://www.meteorologiaenred.com/pt/pluviometro.html>. Acesso em: 15/09/2023.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 4ª edição. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

CALDER, I.R.; KIDD, C.H.R. **A note on the dynamic calibration of tipping-bucket gauges**. Journal of Hydrology, Amsterdam, v.39, p.383-86, 1978.

FERREIRA, E. P. M., Soares, P. H. F., de Lima Reda, A. L., Duro, M. A. S., Cymrot, R., & Crivelari, R. M. **Metodologia para corrigir dados de pluviômetros automáticos comerciais antes da sua publicação: um estudo de caso**. 2017. XVII Safety, Health and Environment World Congress. July 09-12, 2017, Vila Real, PORTUGAL. DOI 10.14684/SHEWC.17.2017.40-44.

JUNIOR, Antenor R. B. **Elementos de hidrologia aplicada**. 1ª edição. São Paulo: Blucher, 2022.

LOPES, A. S; PAVANI, L. C; CORA, J. E; ZANINI, J. R; MIRANDA, H. A. **Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional**. Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 89-100, jan/abr. 2004.

LOPES, Carlos A; PEDROSO, Maria T. M. **Sustentabilidade e horticultura no Brasil: da retórica à prática**. 1ª edição. Brasília: Embrapa, 2017.

MENEZES, A. **Desenvolvimento e calibração de pluviômetros automáticos de baixo custo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Vale do São Franscisco. Campus Juazeiro. Juazeiro, p.51. 2019.

MILANESI, Marcos Alexandre; ALVES, Rogério Rozolen; GALVANI, Emerson. **Comparativo entre instrumentos pluviométricos experimentais e automáticos**. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1, p. 2251-2261, 2017.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. 1ª Edição. São Paulo: Manole, 1990.

SAATH, K. C. O.; FACHINELLO, A. L. **Revista de Economia e Sociologia Rural**. Brasília, v. 56, n. 2, p. 195-212, abr./jun. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/resr/a/DdPXZbMzxby89xBDg3XCTgr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 18/08/2023.

SANTORO, Marcelo. **Agricultura irrigada: o que é, principais métodos e vantagens**. AEGRO, 18/05/2020. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/agricultura-irrigada/>. Acesso em: 18/08/2023.

SANTOS, Diego. **Principais tipos de irrigação**: Vantagens e Desvantagens. Agrosmart, [s.d.]. Disponível em: <https://agrosmart.com.br/blog/vantagens-tipos-de-irrigacao/>. Acesso em: 20/08/2023.

SILVA, Evelise Martins. **7 fatores que influenciam o aumento da produtividade agrícola e como melhorá-los**. AEGRO, 26/11/2020. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/produtividade-agricola/>. Acesso em: 16/08/2023.

SOKOLOVA, Lara. **O que saber sobre agricultura inteligente usando IoT**. Forbes, 24/07/2021. Disponível em: <https://forbes.com.br/forbesagro/2021/09/o-que-saber-sobre-agricultura-inteligente-usando-iot/>. Acesso em: 01/09/2023.

TUCCI, Carlos E. M.; **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4ª edição. Porto Alegre: ABRH, 2004.

VINÃS, José M. **Breve história del pluviómetro**. El Ágora, 2022. Disponível em: < https://www.elagoradiario.com/la-mirada-del-agua/breve-historia-del-pluviometro/ >. Acesso em: 03/11/2023.

Capítulo

08

Soft starters como uma estratégia para otimizar a eficiência energética em sistemas industriais: funcionamento, aplicações, ByPass, ajustes e parametrizações

Soft starters as a strategy to optimize energy efficiency in industrial systems: operation, applications, ByPass, adjustments and parametrizations

Clécio Santos de Jesus
Isaque Martins Silva
José Carlos Carvalho Araujo
Mauro da Silva Santos
Douglas Morais

RESUMO

Dentro das empresas e indústrias, há sempre a necessidade de implantar novas tecnologias para atender melhor à linha de produção, assim como melhorando a eficiência energética. A utilização da partida eletrônica de motores tem se tornado cada vez mais comum devido à eficiência, segurança e economia de energia que oferece. A Soft Starter destaca-se como um dos principais dispositivos para essa finalidade, permitindo o controle de tensão e corrente na partida de motores de indução trifásicos. Isso evita picos de corrente elevados e protege o motor contra sobrecargas e falhas elétricas. No entanto, para uma utilização efetiva e segura do Soft-Starter, é crucial compreender seu funcionamento, suas aplicações, proteções, ajustes e parametrizações. A eficácia do Soft-Starter reside na

AYA Editora©

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.8

capacidade de modular a corrente fornecida ao motor, permitindo um aumento gradual da velocidade. Isso não apenas preserva a integridade mecânica do sistema, mas também contribui para a redução do consumo de energia elétrica e para minimizar os impactos na infraestrutura elétrica global da indústria. A fim de aprofundar o conhecimento dos alunos nas aulas práticas é solicitada a construção de um artigo científico como uma ferramenta adicional de metodologia ativa pois envolve não apenas os conteúdos técnicos abordados em sala, mas também o trabalho em grupo e a simulação de acionamentos em diversas condições nas aulas práticas desta forma contribuindo para o processo de ensino e aprendizagem dentro dos cursos de tecnologia.

Palavras-chave: automação; soft starters; motores elétricos.

ABSTRACT

Within companies and industries, there is always a need to implement new technologies to better serve the production line. The use of electronic motor starting has become increasingly common due to the efficiency, safety, and energy savings it offers. The Soft Starter stands out as one of the main devices for this purpose, allowing control of voltage and current during the start-up of three-phase induction motors. This prevents high current peaks and protects the motor from overloads and electrical faults. However, for effective and safe use of the Soft Starter, understanding its operation, applications, protections, settings, and parameterization is crucial. The effectiveness of the Soft Starter lies in its ability to modulate the current supplied to the motor, allowing for a gradual increase in speed. This not only preserves the mechanical integrity of the system but also contributes to reducing electrical energy consumption and minimizing impacts on the overall electrical infrastructure of the industry. In order to deepen students' knowledge in practical classes, the construction of a scientific article is requested as an additional tool for active methodology, as it involves not only the technical content covered in class but also group work and the simulation of activations in various conditions during practical classes, thus contributing to the teaching and learning process within technology courses.

Keywords: automation; soft starters; electric motors.

INTRODUÇÃO

Com o avanço e desenvolvimento da eletrônica de potência, o uso de chaves eletrônicas na partida de motores indutivos (AC) tornou-se mais prático e economicamente viável. A popularização dessa tecnologia e a crescente demanda por sistemas confiáveis facilitaram a adoção das soft-starters nas indústrias. Esses dispositivos são empregados em operações que requerem partidas e paradas suaves de motores e máquinas acionadas, substituindo métodos como estrela-triângulo, chave compensadora e partida direta principalmente para motores de indução AC tipo gaiola.

Desta forma este artigo se propõe a analisar os ajustes e parâmetros necessários para otimizar o desempenho da Partida Eletrônica de Motores com Soft Starter na indústria. Realizando uma avaliação crítica da eficácia da utilização desse sistema em termos de

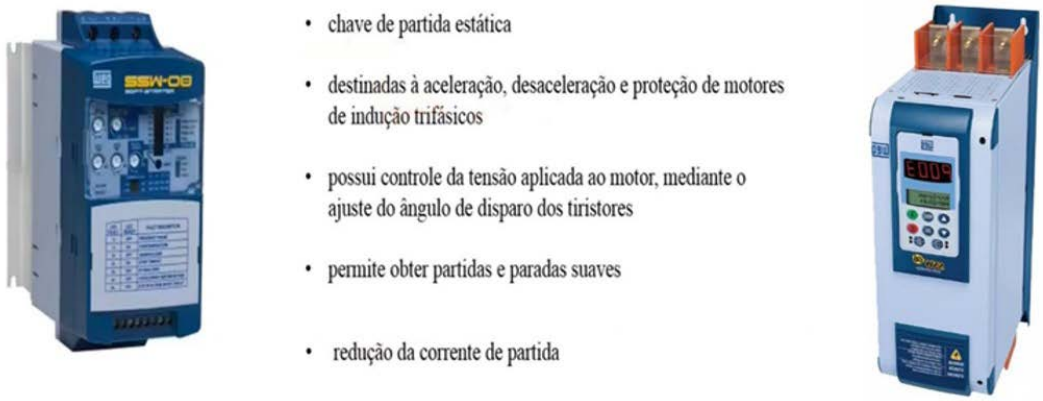
economia de energia e segurança.

DEFINIÇÃO DE SOFT-STARTER

A Soft-Starter é um dispositivo eletrônico composto por pontes de tiristores acionadas por uma placa eletrônica, destinada a controlar a tensão de partida de motores elétricos trifásicos. Seu uso é comum em bombas centrífugas, ventiladores e motores de alta potência, não demandando a variação de velocidade (Franchi, 2008).

A figura 1 mostra dois modelos de soft starter do fabricante WEG.

Figura 1 - Exemplo de soft-starter.



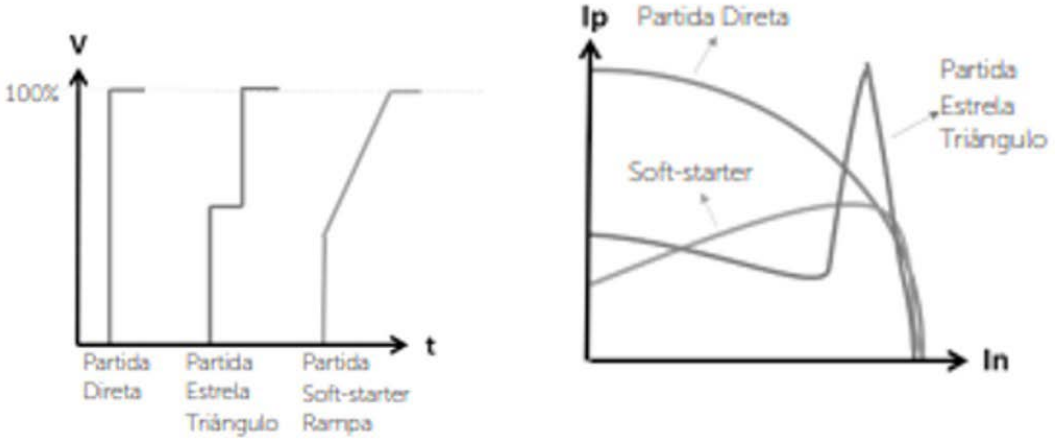
Fonte:adaptado de Weg, (2024)

PARTIDAS INDIRETAS - MOTORES DE INDUÇÃO CA (CORRENTE ALTERNADA)

Ao iniciar um motor trifásico através da partida direta, há um considerável aumento no nível de corrente, conhecido como corrente de pico (Ip). Essa corrente pode atingir níveis elevados, chegando a ser até 8 vezes maior que a corrente nominal do motor. Essa elevação pode danificar equipamentos eletrônicos sensíveis a variações de tensão na instalação e até mesmo prejudicar as bobinas do motor, reduzindo sua vida útil. Portanto, o uso de dispositivos específicos para controlar a partida pode ser a melhor opção para reduzir esse efeito (Franchi, 2008; Guimarães, 2018).

Os motores assíncronos trifásicos de rotor em gaiola apresentam picos de corrente e conjugados indesejáveis durante a partida direta. Para facilitar esse processo, são utilizados vários métodos, como a chave estrela-triângulo, chave compensadora, entre outros. Embora esses métodos sejam capazes de reduzir a corrente de partida, a comutação é realizada por etapas de tensão. No entanto, nenhum desses métodos se equipara ao método de partida suave utilizando o soft-starter. (Guimarães,2018; Franchi, 2008).

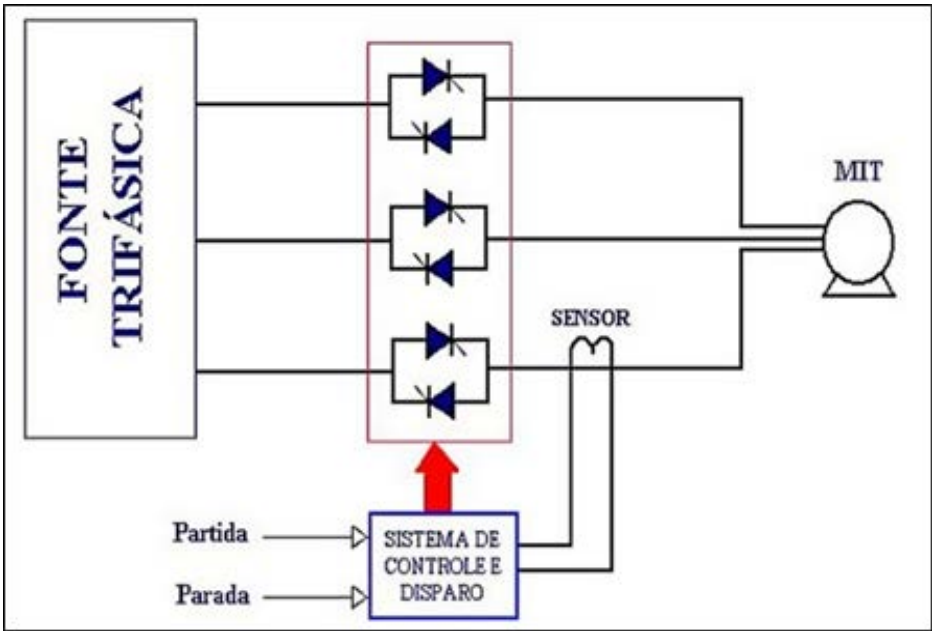
Figura 2 - Comparação entre os principais métodos de partida de motores.



Fonte: Guimarães (2018)

Ao analisar o gráfico, é evidente a notável economia de energia proporcionada pelo soft-starter. Muitos desses dispositivos possuem um circuito que reduz a tensão em processos nos quais apenas 50% da potência do motor é utilizada. Isso resulta na diminuição das perdas de energia por calor, permitindo o uso apenas da energia necessária para a atividade específica. Essa eficiência é claramente demonstrada na Figura 2. A figura 3 apresenta o diagrama de blocos do sistema de controle de um Soft-starter.

Figura 3 - Esquema em bloco do sistema de controle de um Soft-starter.



Fonte: Mundo da Elétrica (2023)

A configuração típica dos componentes que compõem o dispositivo Soft-Starter inclui tiristores, que são componentes semicondutores de quatro camadas p-n-p-n, cada um com três terminais: ânodo, cátodo e o gate (responsável pelo controle da corrente), além de um sistema de controle de disparo. Como ilustrado na Figura 3, os componentes estáticos, ou seja, os tiristores, são responsáveis por regular a corrente e a tensão provenientes da fonte trifásica que alimenta o motor (MIT). O acionamento desses componentes está diretamente ligado ao controle do ângulo de disparo. Essa regulação é realizada de forma

harmoniosa por um sistema, de modo que, ao modificar o ângulo de disparo, a corrente e a tensão sofrem variações (Chapman, 2013).

PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO – RAMPA DE PARTIDA E PARADA (SOFT-STARTER)

Conforme ilustrado no diagrama da figura 3, a soft-starter regula a tensão de partida por meio de seu circuito eletrônico, sendo uma chave de partida controlada por microprocessador. Esta variação é alcançada através da modificação do ângulo de disparo dos tiristores (SCRs), alterando o valor da tensão aplicada ao motor (Guimarães, 2018).

- Circuito de Potência:

Este circuito é por onde circula a corrente que alimenta o motor e é composto por:

TIRISTORES e suas proteções (snubber - para evitar dv/dt);

TC's (Transformadores de Corrente - para limitar a corrente).

- Circuito de Controle:

Neste ponto, estão localizados os circuitos que compreendem:

Controle e monitoramento do circuito de potência;

Sinalização e interface homem-máquina;

Microprocessador.

Rampa de Tensão durante a Aceleração:

Não há uma regra fixa para definir o tempo ideal a ser ajustado nem o valor ideal de tensão inicial para garantir a aceleração da carga do motor. O melhor ajuste pode ser alcançado levando em consideração o tempo de aceleração do motor. Assim, o valor da tensão de partida (Vp) deve ser ajustado de acordo com o tipo de carga acionada.

POSSIBILIDADES DE PARTIDA E PARADA.

Os soft starters, dispositivos eletrônicos desenvolvidos para gerenciar o arranque e a parada suave de motores elétricos, destacam-se como soluções inovadoras e versáteis em comparação com métodos tradicionais. A figura 5 apresenta as possibilidades de partida e parada de uma soft Starter de forma gráfica.

Partida em Rampa de Tensão (figura 4-A): Para uma partida suave do motor, é essencial parametrizar a tensão inicial (Vl) para que ela seja o mais baixa possível, porém suficiente para iniciar o movimento da carga. A partir desse ponto, a tensão aumenta linearmente dentro de um tempo também parametrizado (t1) até atingir o valor nominal (Vn).

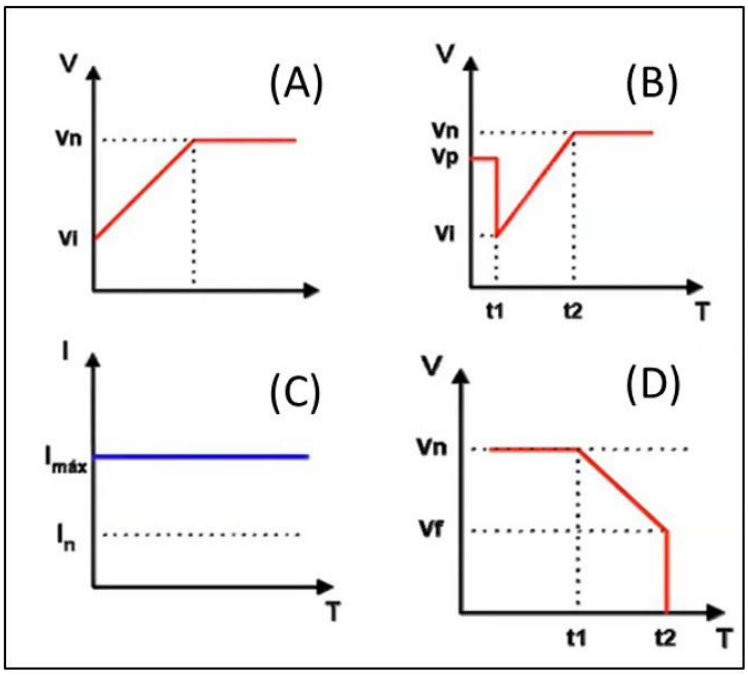
Partida com Impulso de Tensão (Kick Start) (figura 4-B): O kick-start é um pulso de tensão rápido e de grande amplitude aplicado no momento da partida. Isso auxilia o motor a superar a inércia inicial quando há a necessidade de um torque maior, seja devido à carga

acoplada ao motor ou à presença de resíduos sólidos na bomba (como sujeira).

Partida com Limitação de Corrente (figura 4-C): Ao ligar um motor de grande potência sem nenhum tipo de controle pode resultar em uma corrente excessiva, causando quedas de tensão, disparo de dispositivos de proteção e danos ao próprio motor. Limitar essa corrente de partida é crucial para garantir o funcionamento adequado do sistema elétrico e do motor, prevenindo desgastes prematuros e outros problemas associados.

Parada com Rampa de Tensão (figura 4-D): Durante a desaceleração, a tensão precisa ser reduzida instantaneamente para um valor ajustável (Vt), determinado para o momento em que o motor inicia a redução da rotação. A partir desse ponto, a tensão diminui linearmente (em uma rampa ajustável (tr) até atingir a tensão final (Vz), momento em que o motor para de girar e, consequentemente, a tensão é desligada.

Figura 4 - Possibilidades de partida e parada.



Fonte: apud (Amaral, 2013).

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS, VANTAGENS E DESVANTAGENS (SOFT-STARTER)

A introdução de tecnologias avançadas no ambiente industrial tem transformado a abordagem à partida de motores elétricos, e as soft-starters destacam-se como componentes centrais nesse cenário dinâmico. Este tópico explorará as principais características, vantagens e desvantagens associadas ao uso desses dispositivos (FEIS, UNESP, 2023; Lenz,2019).

- Ajuste da Tensão de Partida por Tempo Pré-definido: Possibilidade de configurar a tensão inicial por um período determinado.
- Pulso de Tensão na Partida para Cargas com Alto Conjugado Inicial: Utilização de um pulso de tensão rápido e de grande amplitude para auxiliar na partida

quando há um alto torque necessário devido à carga acoplada ou à presença de resíduos sólidos na bomba.

- Redução Rápida de Tensão para Evitar Choques Hidráulicos em Sistemas de Bombeamento: Diminuição instantânea da tensão para evitar choques hidráulicos em sistemas de bombeamento.
- Proteções Incorporadas: Contra Falta de Fase: Identificação e sinalização de falhas ou ausência de fases, inibindo o disparo dos tiristores em casos de falha.
- Contra Sobrecorrente: Proteção ajustável contra sobrecargas, sinalizando quando a corrente excede os limites ajustados.
- Contra Sobreaquecimento: Sensor térmico que identifica o sobreaquecimento e atua para evitar danos.
- Sensibilidade à Sequência de Fase: Configuração para operar apenas se a sequência de fase estiver correta, especialmente relevante para cargas que não podem girar em sentido contrário.

Recursos adicionais

Plug-in: Conjunto de facilidades disponíveis em módulos extras ou por parâmetros, incluindo relé eletrônico, frenagem CC ou AC, dupla rampa de aceleração para motores de duas velocidades e realimentação de velocidade.

Circuitos de Economia de Energia: Funcionalidade em soft-starters modernos que reduz a tensão para motores sem carga, diminuindo as perdas no entreferro. Importante para cargas de até 50% da potência do motor, embora gere correntes harmônicas indesejáveis na rede.

PRINCIPAIS APLICAÇÕES (SOFT-STARTER)

Os soft-starters são amplamente utilizados em uma variedade de aplicações industriais, proporcionando um controle suave e eficiente em motores elétricos. Suas principais aplicações incluem: Bombas centrífugas (saneamento, irrigação, petróleo); ventiladores, exaustores e sopradores; Compressores de ar e refrigeração; Misturadores e aeradores; Britadores e moedores; Picadores de madeira; Fornos rotativos; dentre outras (Lenz, 2019; WEG, 2024).

Vantagens significativas: O uso de soft-starters proporciona diversas vantagens, otimizando os processos industriais e gerando benefícios consideráveis para as empresas: Não requer refrigeração no painel para poucas partidas, permitindo o fechamento completo do equipamento em muitos casos, mantendo-o limpo; Não apresenta perdas e aquecimento após a partida; As proteções continuam ativas; O contator utilizado não participa da partida e parada, evitando faiscamentos e desgaste prematuro e é mais econômico.

Desvantagens: Apesar de serem uma solução eficaz para o controle suave de partida de motores elétricos, os soft-starters também apresentam desvantagens que requerem

atenção: Geração de harmônicas na tensão e corrente, que podem danificar e reduzir a vida útil dos capacitores para correção do fator de potência, causar sobreaquecimento de transformadores e interferir em equipamentos eletrônicos e Variação no fator de potência.

É crucial considerar esses aspectos ao implementar os soft-starters em um ambiente industrial para avaliar seus benefícios e limitações. (Feis.Unesp, 2024; Lenz,2019)

CUIDADOS NA INSTALAÇÃO E UTILIZAÇÃO (SOFT-STARTER)

A instalação adequada dos soft-starters é crucial para garantir seu funcionamento eficiente e a segurança dos sistemas elétricos (Franchi,2008; Guimarães,2018).

A seguir serão apresentados cuidados importantes a serem observadas:

Instalação física

- Fixação: Os soft-starters podem ser fixados à chapa de montagem usando parafusos, de forma semelhante aos contatores convencionais. Devem ser instalados em locais abrigados, sendo relativamente imunes a ambientes agressivos, principalmente nos modelos com partes móveis, como ventiladores.
- Proteção contra Poeira e Umidade: Soft-starters maiores, com tiristores de discos, devem ser protegidos do pó condutor ou acumulação de umidade.
- Ventilação: Esses equipamentos geram calor e requerem ventilação adequada para evitar acúmulo excessivo de calor. O uso de ventiladores com filtro de poeira e venezianas no painel é essencial para manter a temperatura interna adequada.

Pontos críticos para uso

- Refrigeração: A instalação vertical com a ventilação para cima é fundamental, considerando a perda de calor aproximada de 3,6 W/A de corrente circulante.
- Tipo de Motor: Evite usar soft-starters para partida de motores em anel.
- Fator de Potência: Não coloque capacitores na saída do soft-starter para corrigir o fator de potência.
- Aplicações Específicas: Elevadores e guindastes que exigem torque máximo a velocidade zero não são recomendados para soft-starters.

Proteção e fusíveis

- Proteção por Fusíveis: Todos os soft-starters devem ser protegidos por fusíveis ultra-rápidos, considerando os valores $i^2.t$ dos tiristores e dos fusíveis. Os valores dos fusíveis devem ser 20% menores que os dos tiristores.
- Essas diretrizes são fundamentais para garantir a eficácia e a segurança na utilização dos soft-starters em diferentes aplicações industriais. É crucial

considerar esses aspectos durante a instalação e uso desses dispositivos (Feis. Unesp, 2024; Guimarães,2018; Lenz,2019).

DIAGRAMAS DOS PRINCIPAIS MODOS DE ACIONAMENTO (SOFT-STARTER)

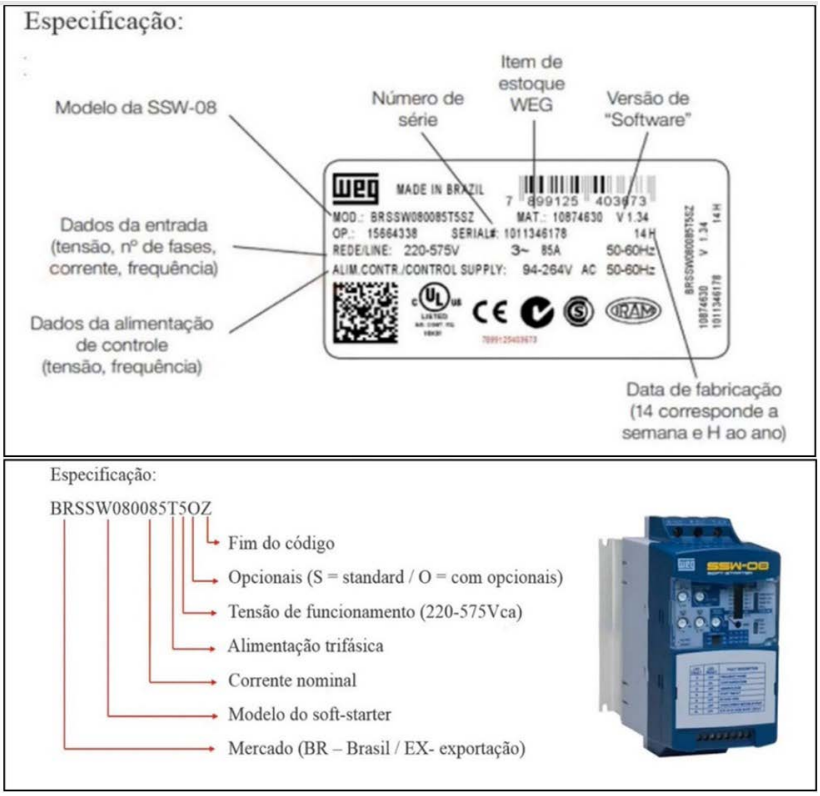
Uma compreensão detalhada dos diagramas que ilustram os principais modos de acionamento em soft starters é fundamental para profissionais e entusiastas que buscam aprimorar seu conhecimento sobre o controle de motores elétricos (Lenz, 2019).

A função de By Pass envolve um contato em paralelo com o soft-starter. No final do acionamento, comandado pelo sinal de “Rotação Nominal”, ele fecha em paralelo com os tiristores, assumindo a corrente nominal do motor. Durante um “Soft Stop”, o contato abre sem faiscar, pois, os tiristores assumem a corrente do motor sem interrupção, iniciando a rampa de desaceleração. Na interrupção final da corrente, passando pelo zero, não há faísca. No caso de um “Full Stop”, um pequeno atraso dentro do soft-starter permite que o contato abra primeiro, também sem faiscar. Em seguida, os tiristores interrompem a corrente passando pelo zero, novamente sem faiscar. O contato de By Pass, portanto, apresenta uma durabilidade significativa, operando sem faiscar tanto na abertura quanto no fechamento (Guimarães,2018; Lenz,2019).

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

Compreender a relevância da especificação da placa em soft starters permite que os profissionais garantam a integração eficaz desses dispositivos em sistemas elétricos complexos. Isso não apenas facilita a partida suave e o controle preciso, mas também promove a segurança e a confiabilidade operacional em moteres elétricos. Uma análise detalhada das especificações da placa é, portanto, essencial para maximizar os benefícios oferecidos pelos soft-starters em aplicações industriais (WEG, 2024).

Figura 5 – Especificação (Soft-starter).



Fonte: Weg (2024)

CRITÉRIOS MÍNIMOS DE DIMENSIONAMENTO DA SOFT- STARTER (SOFT-STARTER)

Os critérios de dimensionamento têm como objetivo assegurar que o motor seja capaz de acelerar a carga de zero à sua velocidade nominal, ou seja, gerar um torque suficiente para superar o torque resistente da carga e a inércia refletida no eixo. Para alcançar esse propósito, são necessários os seguintes dados WEG (2024):

Motor

- Corrente nominal;
- Potência nominal;
- Tensão de alimentação;
- Número de polos (2, 4, 6 ou 8);
- Fator de Serviço;
- Tempo de rotor bloqueado;
- Momento de inércia;
- Curva característica de torque em relação à rotação.

Carga

- Curva característica de torque em relação à rotação;
- Tipo de acoplamento;
- Presença de sobrecarga na partida ou em regime;
- Número de partidas por hora;
- Tempo de rotor bloqueado;
- Momento de inércia;
- Curva característica de torque em relação à rotação.

Para um correto dimensionamento deve-se atentar-se a:

$$I_{nom_Soft-starter} > I_{nom_Motor} * F_{S_{Motor}} * F_m$$

Onde:

$I_{nom_Soft-starter}$: é a corrente nominal da soft-starter

I_{nom_Motor} : é a corrente nominal do motor

$F_{S_{Motor}}$: é o fator de serviço do motor

F_m : fator de multiplicação (vide quadro 1)

Contudo para a escolha o cálculo correto deve-se se atentar ao número de partidas. O quadro 1 apresenta os valores do Fator de multiplicação para regime de partida menores que 10 por hora e também levar em consideração o torque e a inércia resistente da carga ao eixo do motor (WEG,2024).

Quadro 1 - Fator de Multiplicação.

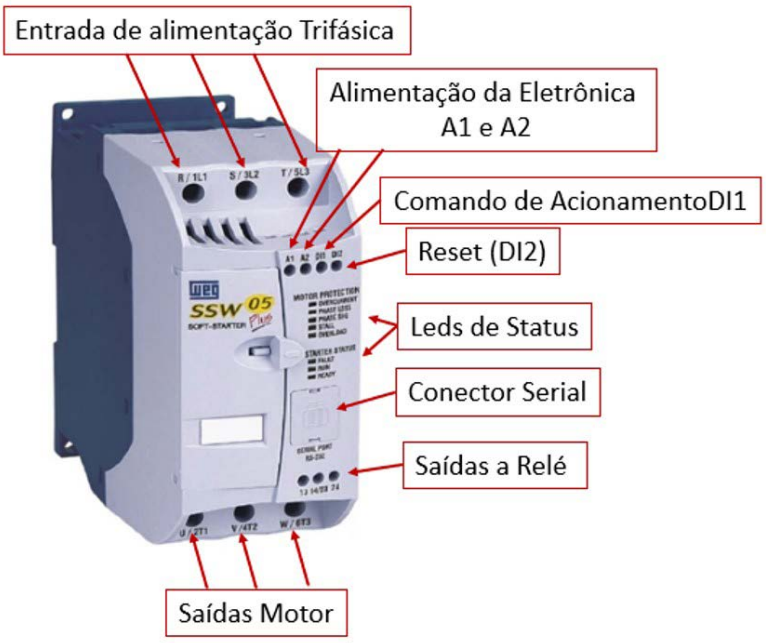
Aplicação		carga	inécia	fator de multiplicação
Bomba centrífuga	Bomba secundária (chiller)	Leve	Baixa	1
	Bombeamento predial (cisternas)	Leve	Baixa	1
	Bomba elevação ou distribuição	Leve	Baixa	1
Compressores (parafuso)	Partida com alívio	Leve	Baixa	1
Compressor (alternativo)	Partida sem alívio	Moderada	Média	1
Misturadores		Moderada	Média	1,2-1,6
Exaustor		Pesada	Média	1,5-1,8
Moinhos		Pesada	Média	1,5 - 1,8

Fonte: adaptdo de (WEG- Dica Técnica, 2024)

INTERFACE

A figura 6 apresenta a interface da soft-Starter presente no laboratório de máquinas Elétricas da Faculdade de Tecnologia de Osasco, e utilizada nas aulas práticas da disciplina de Máquinas elétricas II.

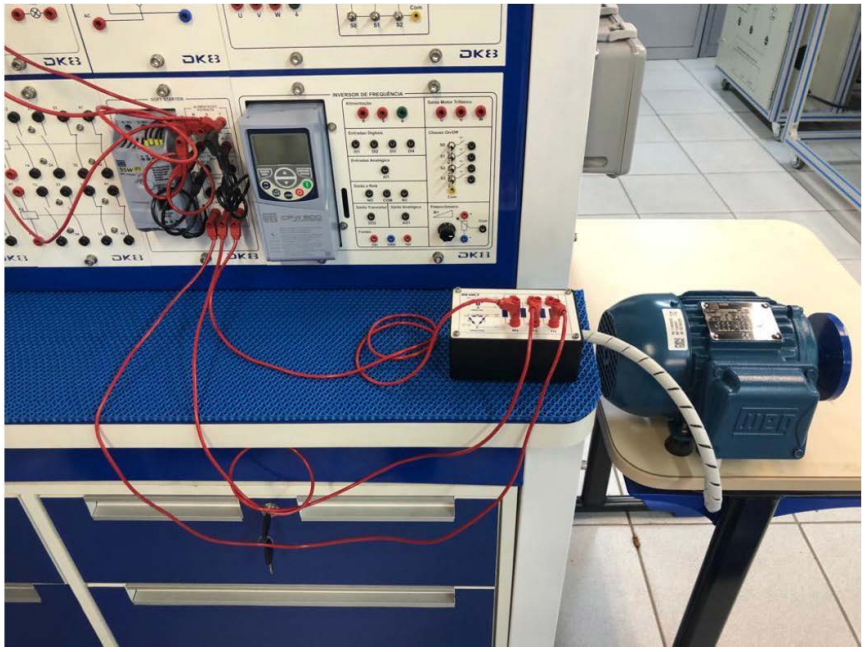
Figura 6 - Modelo de Soft Starter disponível no laboratório.



Fonte: adaptado de (WEG.NET, 2024)

A figura 7 apresenta uma imagem de uma das experiências práticas desenvolvidas na disciplina de Máquinas Elétricas II.

Figura 7 - Experimento desenvolvido em aula.



Fonte: Autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A capacidade da soft-starter de controlar de forma precisa a tensão e a corrente durante a partida não apenas protege o motor contra sobrecargas e falhas elétricas, mas também elimina choques mecânicos que prejudicam a vida útil do motor, a flexibilidade desse

dispositivo permite sua aplicação em uma variedade de setores industriais, adaptando-se às necessidades específicas de diversos tipos de motores e cargas. Além disso, a soft-starter desempenha um papel importante na redução do impacto na rede elétrica, contribuindo para a estabilidade do sistema e possibilitando uma gestão mais eficaz da demanda de energia. o investimento nesse dispositivo oferece retornos substanciais em termos de desempenho, confiabilidade e economia de energia, a soft-starter é uma ferramenta essencial na otimização de processos industriais, demonstrando seu papel fundamental na modernização. Desta forma os domínios dos conteúdos abordados no texto são de extrema importância para aprofundar os conhecimentos dos alunos e assim como estimula os mesmo na busca pelo conhecimento.

REFERÊNCIAS

AMARAL, R. S. DO. Aplicação da soft-starter para acionamento de motores de indução acoplados a diferentes tipos de cargas mecânicas. Monografia de Especialização. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

BLOG **Schneider Electric** - Disponível em: https://blog.se.com/br/automacao-industrial/2022/12/15/soft-starter-o-que-e-como-funciona-e-quais-sao-as-vantagens-ao-utiliza-las/ Acesso: out. 2023.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de máquinas elétricas**. 5. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. xix, p. 684.

FEIS,UNESP. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/departamentos/engenhariaeletrica/softstarter.pdf. Acesso: nov. 2023

FRANCHI, C. M. **Acionamento Elétricos**. 3° ed. Editora Érica. São Paulo, 2008

GUIMARÃES, Herbert Oliveira. **Acionamento de motores elétrico**. Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2018. 256 p

LENZ, M. L.; *et al.* **Acionamentos Elétricos**. Editora: Grupo A. eBook. 2019. 252pg

Mundo da eletrica. **Canal mundo da elétrica** - Disponível em: https://www.mundodaeletrica.com.br/o-que-e-um-soft-starter/ Acesso: out. 2023

WEG, Dica Técnica. **SOFT-STARTERS: como escolher o modelo ideal para uma aplicação?.** https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hca/h01/WEG-dica-tecnica-soft-starters-50085124-pt.pdf.

WEG.NET. **Soft Starters**. Disponível em: https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/Automa%C3%A7%C3%A3o-e-Controle-Industrial/Controls/Partida-e-Prote%C3%A7%C3%A3o-de-Motores/Soft-Starters/c/BR_WDC_IA_CTL_MPC_SSW?h=a41bb2a2. Acesso em: Jan. 2024.

Capítulo

09

Conservação e reaproveitamento de ar comprimido com a utilização do músculo pneumático

Carlos Eduardo de Moraes

Graduando em Tecnologia em Manutenção Industrial. FATEC-Osasco. https://orcid.org/0009-0009-7697-1253

Reginaldo Bolognese da Silva Santos

Graduando em Tecnologia em Manutenção Industrial. FATEC-Osasco. https://orcid.org/0009-0004-3007-282X

Lucas Henrique Vespasiano

Graduando em Tecnologia em Manutenção Industrial. FATEC-Osasco. https://orcid.org/0009-0008-5347-7458

André Rosa Ferreira

Orientador Mestre em Engenharia Elétrica. https://orcid.org/0000-0002-4946-6851

RESUMO

A proposta desse estudo com as simulações foi de demonstrar o comportamento de um circuito pneumático aproveitando a saída do escape rápido do ar comprimido de uma válvula de comando, este ar comprimido será reaproveitado utilizando um reservatório de músculo pneumático para o acúmulo e armazenamento de ar, gerando uma pressão para um segundo circuito, comprovando assim o seu funcionamento e realizando eficiência energética no uso do ar comprimido proporcionando economia de energia na Indústria e auxiliando na preservação do meio ambiente, com a redução de emissão de dióxido de carbono (CO2). Foram realizadas várias simulações com e sem a utilização do músculo pneumático, coletadas as informações e calculados para obtenção de resultados. Nesta pesquisa científica foi possível alcançar resultados satisfatórios quanto a economia de ar comprimido na indústria. O objetivo principal é reduzir o desperdício de ar comprimido, reaproveitando o ar que sai pelo escape rápido de uma válvula de comando 5/2 vias, sendo dispensado para a atmosfera. Durante as simulações práticas, foi verificada a possibilidade de ganhos energéticos, com conservação de energia, onde a velocidade do sistema reaproveitado foi menor em comparação ao sistema convencional, conforme será abordado no decorrer deste artigo. Ao final, foi observado que houve uma redução de aproximadamente 35% no consumo de ar comprimido quando comparado com o sistema convencional, o equivalente a R$ 1.213,00 por ano de economia de energia, porém, mesmo com um resultado positivo houve uma redução no tempo de operação próximo de 14%, o que para muitas indústrias pode representar um grande impacto dependendo do tipo de operação. As simulações apresentaram um aumento de 21% do ar liberado pela válvula para o músculo pneumático, dado que pode ser objeto de estudo para um próximo trabalho.

Palavras-chave: eficiência energética; ar comprimido; reservatório de músculo pneumático.

AYA Editora©

ABSTRACT

The purpose of this study with simulations was to demonstrate the behavior of a pneumatic circuit taking advantage of the rapid exhaust of compressed air from a control valve. This compressed air will be reused using a pneumatic muscle reservoir for the accumulation and storage of air, generating pressure for a second circuit, thus proving its operation and achieving energy efficiency in the use of compressed air, providing energy savings in Industry and helping to preserve the environment, with the reduction of carbon dioxide (CO2) emissions. Several simulations were carried out with and without the use of pneumatic muscle, information was collected and calculations were made to obtain results. In this scientific research it was possible to achieve satisfactory results in terms of compressed air savings in industry. The main objective is to reduce the waste of compressed air, reusing the air that comes out through the quick exhaust of a 5/2-way control valve, being released into the atmosphere. During practical simulations, the possibility of energy gains was verified, with energy conservation, where the speed of the reused system was lower when compared to the conventional system, as will be discussed throughout this article. In the end, it was observed that there was a reduction of approximately 35% in compressed air consumption when compared to the conventional system, equivalent to R$ 1,213.00 per year in energy savings, however, even with a positive result there was a reduction in operating time of close to 14%, which for many industries can represent a major impact depending on the type of operation. the simulations showed an increase of 21% in the air released by the valve for the pneumatic muscle, which can be the subject of study for future work.

Keywords: energy efficiency; compressed air; pneumatic muscle reservoir.

INTRODUÇÃO

Considerando o cenário atual, torna-se cada vez mais notável a importância de as indústrias tomarem práticas cada vez mais sustentáveis, para assim alcançarem pilares importantes como competitividade, responsabilidade e inovação. Sendo pauta de inúmeras discussões de nível global, o tema de Eficiência Energética assume um ranking importante nas empresas por ser um método rentável a curto prazo e que além de tudo, contribui na redução da emissão de gases do efeito estufa

Nas linhas de produção industriais utiliza-se ar comprimido para agilizar o processo; no entanto, este procedimento pode ter um custo elevado em algumas circunstâncias, visto que o ar comprimido gerado pelo compressor eleva os custos em sua produção. Isso ocorre devido à utilização de motores elétricos (/manual Prático – Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido – Eletrobrás / Procel.), tais como sistemas de refrigeração usados para a secagem do ar e do compressor (Sistema de Geração de Ar Comprimido - https://arcomprimido.com.br/sistema-de-geracao-de-ar-comprimido/).Esses sistemas devem ser acionados por motores elétricos que são alimentados por uma rede elétrica, impactando diretamente no consumo de energia da fábrica. É necessário ajustar esses sistemas para evitar o desperdício de energia.

REFERENCIAL TEÓRICO

O ar comprimido tem um papel importante nas indústrias devido a sua flexibilidade e segurança durante as operações, porém para exercer as mesmas atividades que um sistema elétrico por exemplo, a utilização de uma rede pneumática pode custar de sete a dez vezes mais (Manual de Ar Comprimido 6ª edição – 2017/ Metalplan).

Tendo em vista que a aplicação de um sistema pneumático conta com diversos dispositivos como válvulas, atuadores, mangueiras e conexões etc. é importante garantir que a instalação e manutenção seja adequada, uma vez que um dos maiores problemas são as perdas por vazamentos que podem representar até 40% de todo o ar comprimido que foi produzido (Manual de Ar Comprimido 6ª edição – 2017/ Metalplan). Garantir que todo o sistema esteja devidamente vedado contra umidade e vazamentos é possível elaborar uma estrutura sólida para a aplicação de um sistema de conservação e eficiência energética.

Neste estudo de pesquisa, optamos por embasar nossa análise nos referenciais teóricos do estudo de caso, os quais foram meticulosamente elaborados com ênfase no reaproveitamento de ar comprimido. Exploramos modelos até então não aplicados nas instalações fabris, utilizando como exemplo o artigo intitulado “Conservação e Reutilização de Ar Comprimido em Reservatório de Látex”, publicado na renomada Revista REMIPE, da Faculdade de Tecnologia de Osasco.

METODOLOGIA

Esta pesquisa tem como objetivo analisar, por meio de cálculos, os custos associados à geração de ar comprimido e propor uma estratégia para reduzir os desperdícios, visando a reutilização do ar dentro de um mesmo circuito por meio do uso do músculo pneumático.

Para conduzir este estudo, foram realizados levantamentos de dados por meio de experimentos e testes práticos. Foram montados circuitos com a definição de 400 ciclos e uma pressão de 3,2 bar como parâmetros base para as simulações. A partir dos dados coletados, foram calculados os pontos críticos que afetam os custos ao longo de todo o processo.

Para tanto, foram conduzidos testes tanto com quanto sem a utilização do músculo pneumático mencionado. Foram analisadas as seguintes especificações técnicas: vazão (L/min), pressão (bar), tempo e ciclos.

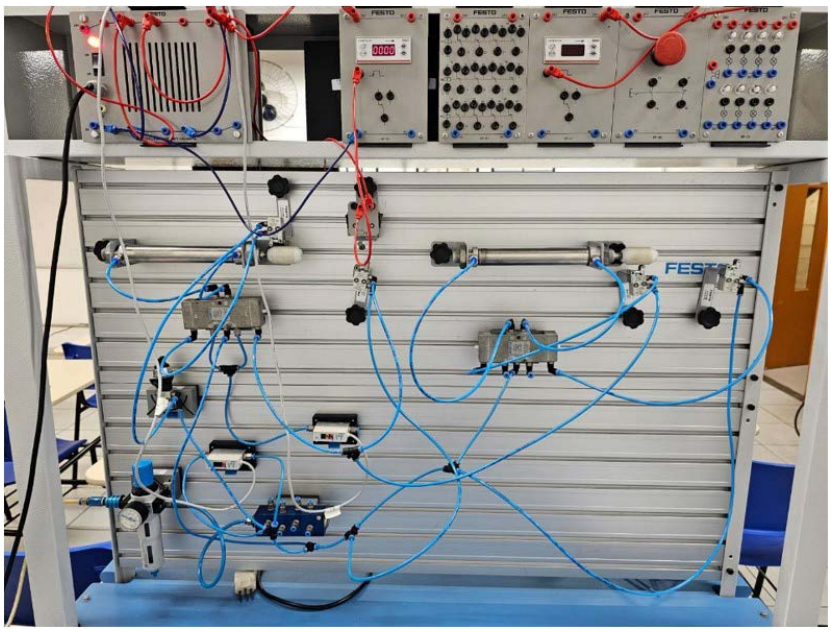
Materiais Utilizados

Neste tópico serão apresentados os materiais que foram utilizados de maneira resumida, estes que foram fundamentais para o estudo são componentes mais utilizados nas indústrias de diferentes segmentos. A partir desses materiais foi possível elaborar montagens de diferentes tipos de circuitos pneumáticos, de acordo com o local da instalação e o processo em que será utilizado.

Para a realização dos testes em bancada, foi utilizado um painel didático no laboratório de pneumática na Fatec – Osasco (Figura 1), bem como os seguintes

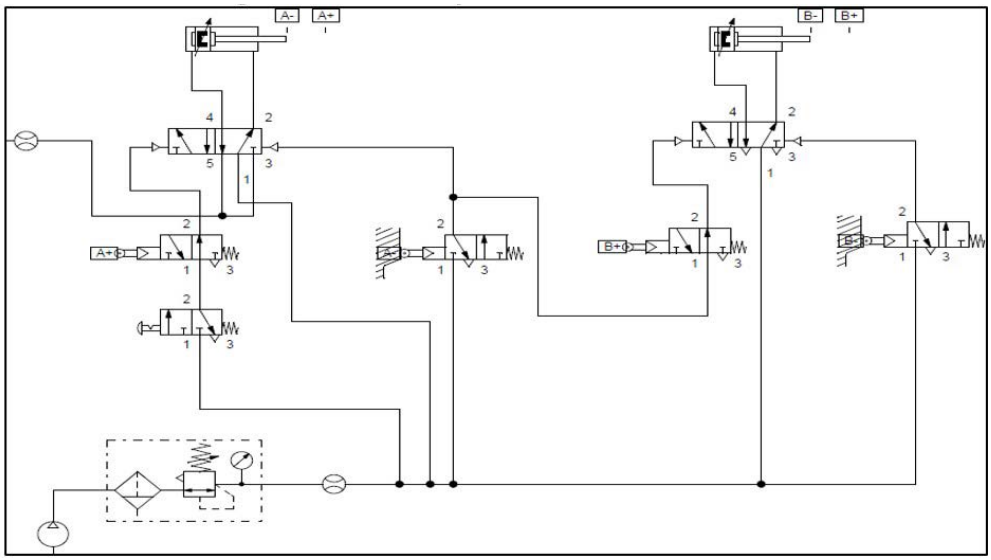
equipamentos: válvulas direcionais, válvulas reguladoras de fluxo, conexões, atuadores pneumáticos, músculo pneumático, medidor de pressão, medidor de vazão, mangueiras, compressor e unidade de conservação, descrição na tabela 1.

Figura 1 - Bancada de ensaio Festo sem o músculo pneumático.



Fonte: Próprio Autor

Figura 2 - Circuitos pneumático sem músculo.



Fonte: Próprio Autor

Figura 3 - materiais utilizados.

Foto	Nome
	Atuador de dupla ação
	Válvula direcional 5/2 vias acionamento por duplo piloto
	Válvula direcional 3/2 acionamentos por botão com retenção
	Válvula reguladora de fluxo unidirecional.
	Unidade de conservação.
	Conexão rápida em T
	Mangueira tipo flexível para conexões de engate rápido

Fonte: Próprio autor.

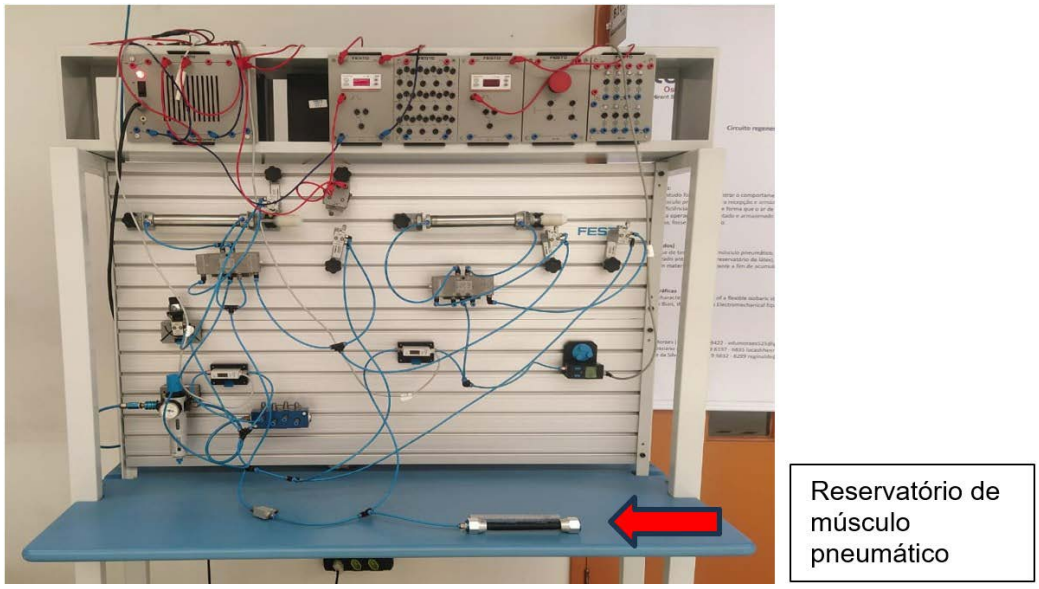
O foco desta pesquisa é analisar os custos envolvidos na geração de ar comprimido e o impacto dos desperdícios em larga escala nos processos industriais. Propõe-se a ideia de um dispositivo capaz de reduzir significativamente esses impactos negativos, visando promover o consumo eficiente de energia. No Brasil, as indústrias são responsáveis por 35% do consumo de energia elétrica, sendo que 40% desse consumo é atribuído à geração de ar comprimido (Atlas Copco, 2024). Estima-se que 80% do custo de geração de ar comprimido provém do consumo de energia elétrica, que a cada dia se torna mais cara.

Para tanto, com a utilização de um músculo pneumático foi possível alcançar resultados positivos, os quais serão apresentados nos próximos tópicos. O funcionamento se dá a partir do acionamento de um botão e, de modo simplificado, o cilindro A avança, retorna à sua posição inicial e o cilindro B avança e retorna também à sua posição inicial (A+, A-, B+, B-). Na primeira simulação não foi utilizado o músculo pneumático, a fim de analisar as condições atuais e originais do sistema, sem nenhum reaproveitamento, estabelecendo o valor de 400 ciclos de repetições e uma pressão inicial de 3.2 bar. Neste sistema, o ar utilizado por ambos os cilindros (A e B) são liberados para atmosfera após

a sua utilização por uma válvula de comando que contém saídas de ar, a princípio sem nenhuma reutilização.

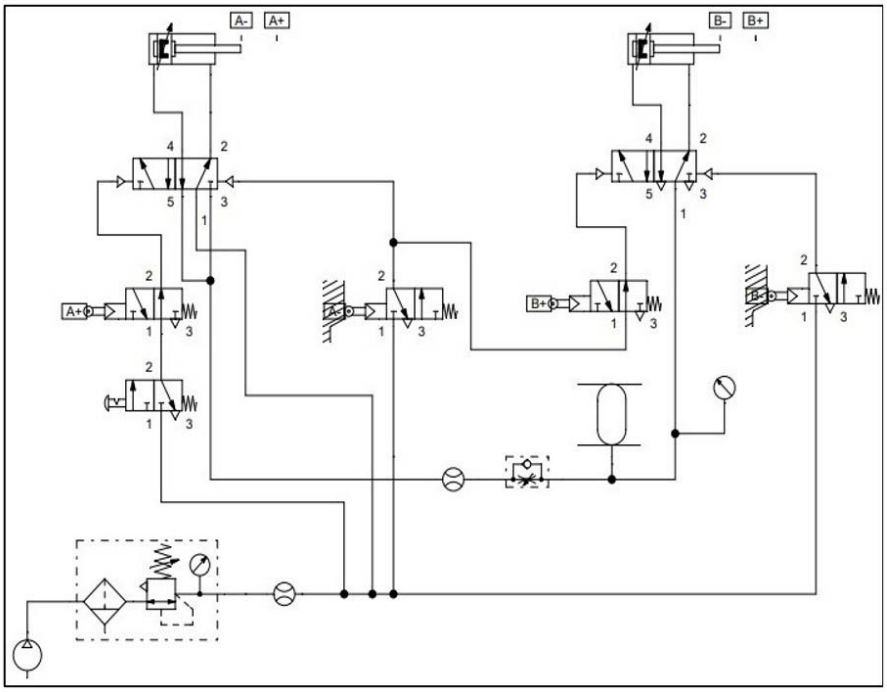
Na segunda simulação foi realizada a instalação do dispositivo músculo pneumático de modo que todo o ar liberado pela válvula do cilindro A agora seja direcionado ao músculo e utilizando uma conexão de três vias, o ar seja conduzido do músculo até o cilindro B. Como definido anteriormente, o teste seguiu com os mesmos valores de ciclos e pressão.

Figura 4 - Bancada de ensaio Festo com o músculo pneumático.



Fonte: Próprio Autor.

Figura 5 - Circuito pneumático com músculo pneumático.



Fonte: Próprio Autor

Músculo Pneumático

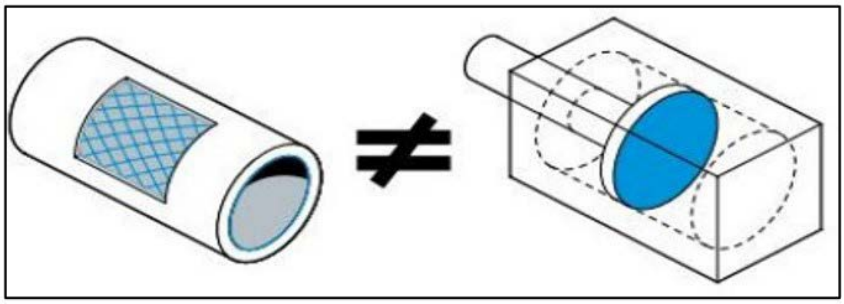
O músculo pneumático (ver Figura 6 e 7) é um atuador de tração que reproduz o movimento natural de um músculo. Este dispositivo consiste em tubos contráteis e conectores apropriados. O tubo contrátil é composto por uma bainha de borracha com um revestimento interno não frisado de fibras de aramida. A bainha garante a hermeticidade do meio operacional, enquanto as fibras desempenham papel crucial no reforço e na transmissão de energia.

Figura 6 e 7 - O músculo pneumático.

Fonte: Festo (2024).

Quando é aplicada pressão interna, a bainha tubular se estende na direção circunferencial, gerando uma força de tração que atua longitudinalmente sobre a tubulação. A força de tração máxima disponível é alcançada no início da contração e diminui ao longo do curso, resultando em uma atuação do músculo mais suave em comparação com um atuador pneumático clássico (original).

Figura 8 - Disposição Interna.

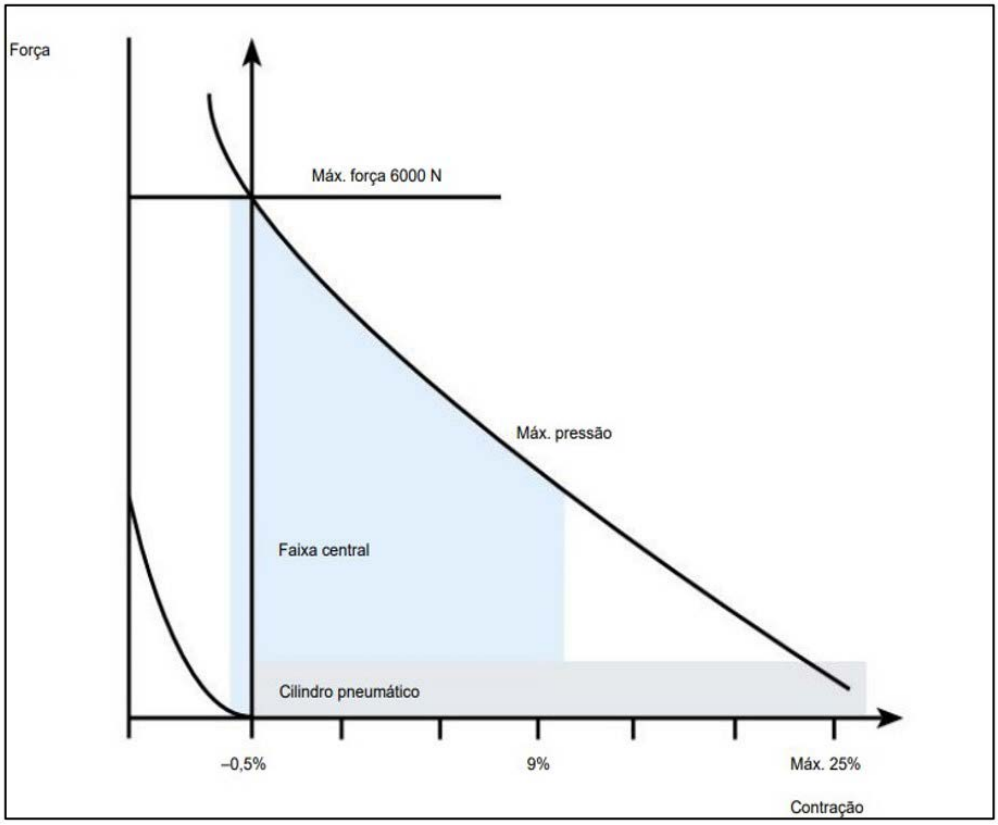


Fonte: Festo (2024).

Em sua forma mais elementar, o músculo pneumático atua como um atuador de ação simples em oposição a uma mola mecânica ou carga. A mola mecânica provoca uma tensão no músculo, levando-o a sair de seu estado inicial, que é expandido e não pressurizado. O estado operacional ótimo é alcançado quando o músculo está estendido em cerca de 0,5% de seu comprimento nominal, garantindo que o diafragma não esteja sob compressão quando despressurizado.

Quando submetido à pressão, um músculo pré-tensionador atinge sua máxima força com características dinâmicas ideais e um consumo mínimo de ar. A faixa operacional mais eficaz é observada quando a contração está abaixo de 9%. Quanto menor a magnitude da contração, mais eficiente ela se torna (figura 8).

Figura 9 - Curva Força X Contração.

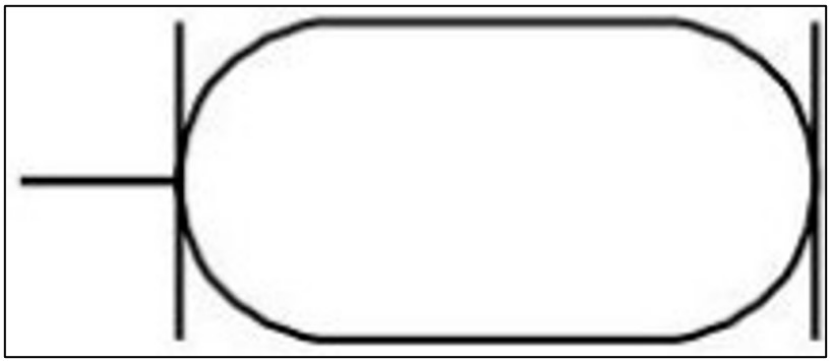


Fonte: Festo (2024).

Ficha Técnica

Abaixo são apresentados os dados e especificações técnicas do músculo pneumático como: simbologia (figura 9), dimensões e componentes internos, de acordo com o fabricante Festo, uma das maiores empresas do segmento pneumático que está presente em grande parte das indústrias nacionais e internacionais, trazendo dispositivos e soluções diversas para as mais variadas aplicações.

Figura 10 - Simbologia do músculo.



Fonte: Festo (2024).

Comprimento nominal: 30 a 900 milímetros;

Força do curso: 0 a 600N;

Diâmetro: 5 a 40 milímetros;

Modo de operação: ação simples, puxando;

Máxima contração permitida: 25% do comprimento nominal.

Custo do Ar Comprimido

Como mencionado anteriormente, os custos com a produção do ar comprimido representam uma grande parte dos custos de uma empresa. Em seu ciclo de utilização, estima-se que a aquisição e instalação representam apenas 12%, enquanto 8% são custos com manutenção e operação, e a maior parcela, correspondente a 80%, são os gastos com energia elétrica (ERSE, [s.d.]). Abaixo serão abordados os dados técnicos do compressor e os custos envolvidos durante os ensaios nesta pesquisa.

Tabela 1 - Cálculo do custo do ar comprimido.

Compressor	Dados
Potência do motor	5HP
FS	1, 6
%FUC	1
%FUA	0, 4
R$ Kwh	0, 81*
% H Carga	0, 8
%H Alívio	0, 2
Rendimento em carga	0, 95
Rendimento em Alívio	0, 9

Fonte: Autor.

$$\mathbf{Car} = \frac{(\boldsymbol{Pot.Fs.Fu}).(0{,}736).(\boldsymbol{Hop}).\left(\frac{\boldsymbol{R\$}}{\boldsymbol{kWh}}\right).(\%\boldsymbol{h})}{\boldsymbol{n}}$$

Sendo:

Car = Custo do ar comprimido gerado pelo motor elétrico em R$;

Pot = Potência do motor em hp;

Fs = Fator de serviço do motor (indicado na placa do compressor);

Fu% = Percentual de operação do compressor – fator de utilização;

Fuc%: Fator de utilização em carga = 1,0;

Fua%: Fator de utilização em Alívio = 0,4;

Constante = 0,736 (conversão de HP para kW);

Hop = Nº de horas de operação do compressor;

%h = Percentual de operação do compressor;

%Hc: Quando em carga (%);

%Ha: Quando em Alívio (%);

n = Rendimento do motor;

nc: Quando em carga (0,95);

na: Quando em Alívio (0,85).

Tabela 2 - Custo do ar comprimido.

Custo do ar comprimido gerado por um motor elétrico
CAR = R$ 4,01 (em carga)
CAR = R$ 1,05 (em Alívio)
CAR total= R$ 5,06

Fonte: Autor

Tabela 3 - Custo sem músculo pneumático

Sem músculo pneumático	
Ciclos totais	400
Pressão (bar)	3,2
Vazão (m3/h)	3,2
Tempo (minutos)	3,07
Tempo (HQP) (horas)	0,051
Custo em carga	R$ 0,25
Custo em Alívio	R$ 0,06
Custo total	R$ 0,31

Fonte: Autor.

Tabela 4 - Custo com músculo pneumático.

Com músculo pneumático	
Ciclos totais	400
Pressão(bar)	3,2
Vazão (m 3/h)	2,4
Tempo (minutos)	3,54
Tempo (HOP) (horas)	0,059
Custo em carga	R$ 0,29
Custo em Alívio	R$ 0,07
Custo total	R$ 0,36

Fonte: Autor.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, serão apresentados os resultados obtidos em laboratório, bem como as comparações feitas a fim de mensurar e validar a eficiência da pesquisa, contudo, vale ressaltar que para resultados mais elaborados é necessário avaliar e basear-se nas condições dos locais em que serão aplicados, tendo em vista que para cada projeto há condições específicas de cada ambiente a ser estudado. Neste cenário, trata-se de

amostras laboratoriais de escala reduzida para validação experimental.

Para a realização do primeiro ensaio foram definidos os valores de quantidade de ciclos (400) e a pressão de alimentação do sistema que foi de 3.2 bar, o tempo de realização dos ciclos foi de 3 minutos e 7 segundos (média obtida de três amostras) e inicialmente a vazão total do sistema foi de 3, 24 m³/h e o ar liberado pela válvula direcional pelo escape, foi de 1, 44 m³/h. A partir desses dados coletados foi levado em consideração a utilização do músculo pneumático para comparação de um sistema que demonstrasse uma menor perda durante o processo.

Foi realizada a instalação do músculo pneumático iniciando novamente o processo comparativo sendo 400 ciclos de operação, pressão do sistema de 3.2 bar, tempo médio de operação de 3 minutos e 54 segundos, vazão do sistema para o atuador A de 2, 4 m³/h, vazão de saída da válvula de escape (alimentação do músculo) 1, 74 m³/h e uma pressão de saída do músculo para o atuador B de 0.6 bar, tornando assim a alimentação do atuador B apenas com o ar que seria desperdiçado pela válvula do atuador A.

Dados Coletados

Tabela 5 - Teste 1.

Teste 1 – Sem músculo pneumático	
Ciclos de operação	400
Pressão do sistema	3,2 bar
Tempo total de operação do ciclo	3 min e 07 segundos
Consumo total do sistema	3,24 metros cúbicos por hora
Vazão do escape da válvula direcional (perda)	1,44 metros cúbicos por hora

Fonte: Autor

Tabela 6 - Teste 2.

Teste 2 - Com músculo pneumático	
Ciclos de operação	400
Pressão do sistema	3,2 bar
Tempo total de operação do ciclo	3 minutos e 54 segundos
Consumo total do sistema (vazão)	2,4 metros cúbicos por hora
Vazão para o músculo (reaproveitamento)	1,74 metros cúbicos por hora
Pressão na saída do músculo	0,6 bar

Fonte: Autor.

Durante a transição da simulação 1 para a simulação 2, foram observadas melhorias significativas nas operações. Inicialmente, houve um aumento de 13% no tempo total de operação, atribuído a restrições nos processos e na mecânica, resultando em uma leve perda de eficiência operacional. Paralelamente, registrou-se uma redução notável de aproximadamente 35% no consumo de ar comprimido, representando não apenas uma economia direta de recursos, mas também um avanço em direção à sustentabilidade operacional.

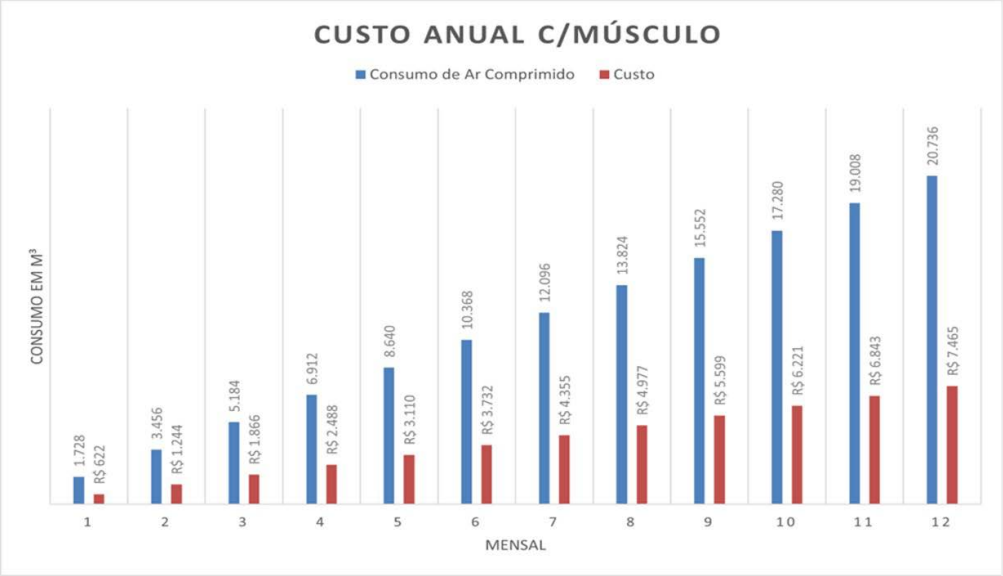
Além disso, pode-se destacar um reaproveitamento de 120% do que anteriormente seria emitido para a atmosfera. Esse índice de reaproveitamento reflete um compromisso

ambiental e uma inovação no processo, maximizando a utilização dos recursos disponíveis.

No que diz respeito à redução de custos, identificou-se uma diminuição de 16% nos custos totais associados ao consumo de energia elétrica. Esta redução é significativa, especialmente diante do elevado custo da energia e de seu impacto expressivo nas despesas operacionais.

Para alcançar esses resultados notáveis, adotou-se uma abordagem detalhada, alinhada à realidade operacional das empresas brasileiras. Essa abordagem considerou uma operação contínua, funcionando 24 horas por dia, em sistema de turnos, ao longo dos 30 dias de cada mês e durante todo o ano. Tal regime de operação proporciona uma base sólida para a implementação de melhorias contínuas, garantindo a sustentabilidade e a competitividade das empresas no mercado.

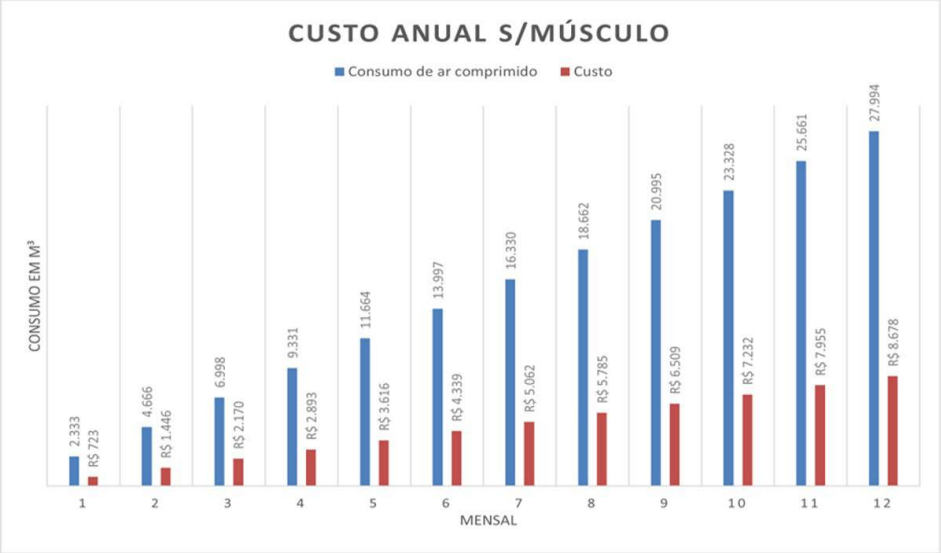
Gráfico 1



Fonte: Autor

Observa se que no Gráfico 1 o consumo de ar comprimido é menor em comparação ao gráfico 2 e o consumo de energia elétrica é menor em relação ao gráfico 2.

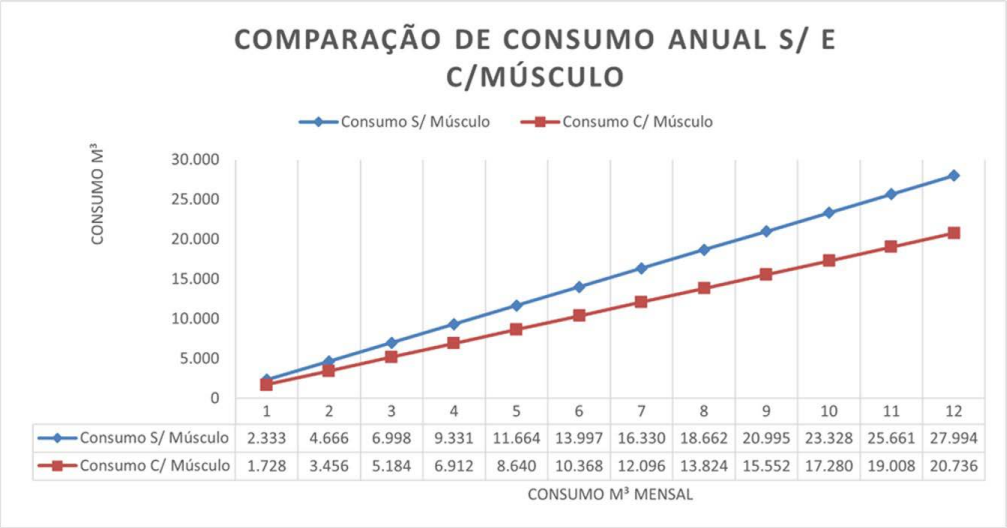
Gráfico 2



Fonte: Autor.

No gráfico 3, verifica-se que o consumo de ar comprimido e de energia elétrica são maiores sem a utilização do músculo pneumático.

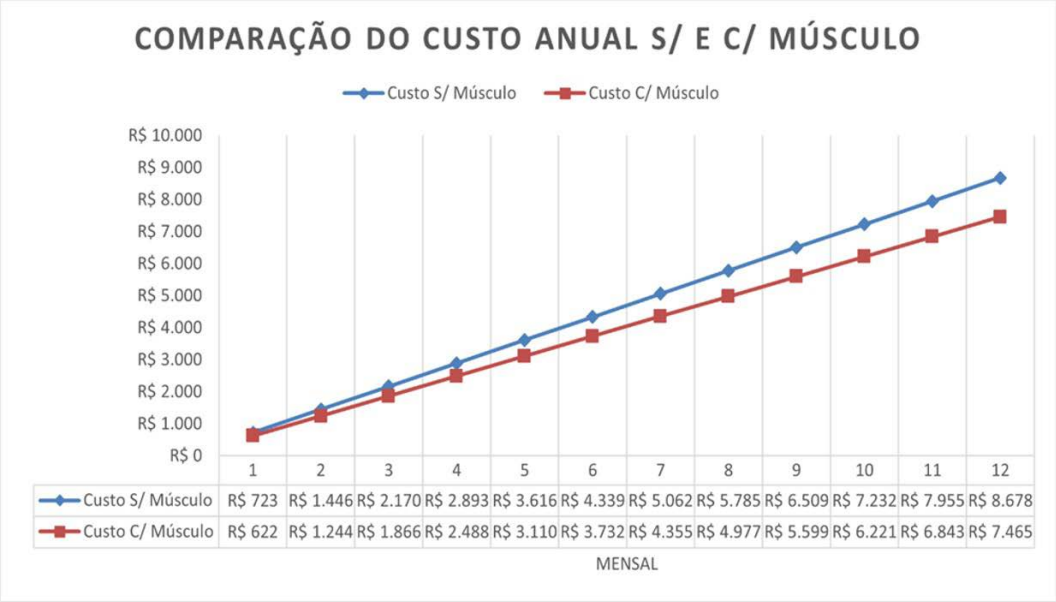
Gráfico 3



Fonte: Autor.

O gráfico 4, demonstra e compara a economia em m³ de ar comprimido por ano com adoção do músculo pneumático ao circuito.

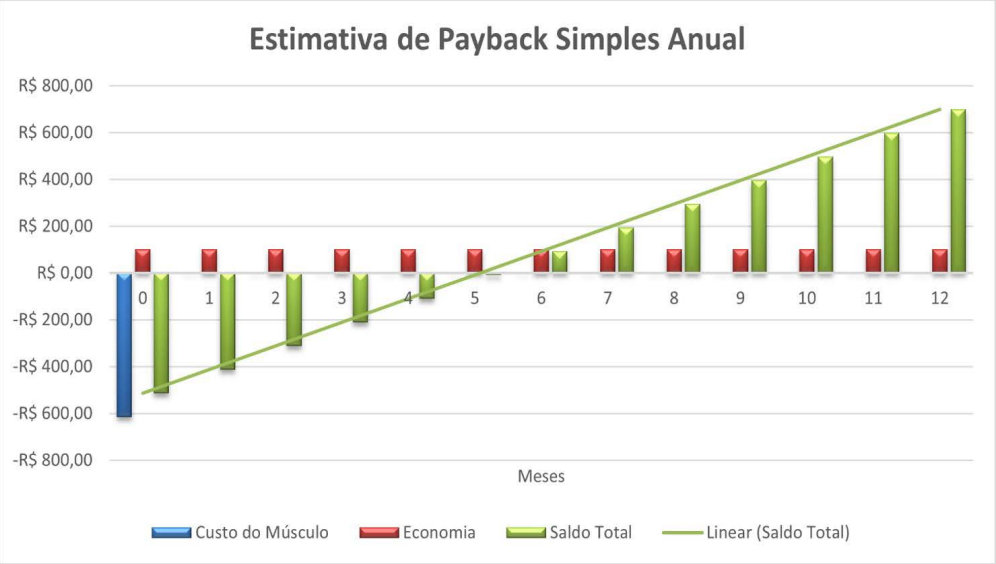
Gráfico 4.



Fonte: Autor

O gráfico 5, demonstra a economia em Reais que o músculo pneumático proporcionou. Com os resultados obtidos foi possível realizar o cálculo de payback simples. Nessa simulação em específico obteve-se um payback de 5 meses.

Gráfico 5 - Payback.



Fonte: Autor

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados deste estudo, fica evidente que a implementação do músculo pneumático resultou em uma significativa redução no consumo de ar comprimido, atingindo uma diminuição de aproximadamente 35% em comparação com o sistema convencional. Além disso, a análise aponta para uma redução de 16% no custo total da simulação, destacando-se como um ponto de partida promissor para pesquisas futuras e implementações em escalas mais amplas.

No entanto, deve-se considerar o contexto específico de cada aplicação, especialmente diante da observação de uma diminuição no tempo de operação em torno de 14%. Esse impacto pode variar conforme as necessidades e exigências de diferentes setores industriais.

Conclui-se, portanto, que a adoção do músculo pneumático em conjunto com estratégias de conservação e eficiência energética apresenta vantagens significativas, conforme evidenciado pelos cálculos e análises realizadas. Este estudo representa um marco importante no campo da conservação de energia, sugerindo uma continuidade na exploração deste tema, especialmente considerando o aumento de aproximadamente 21% na vazão de ar liberado pela válvula para o músculo pneumático. Essa constatação abre caminho para investigações futuras e aplicações práticas em diversos contextos industriais.

REFERÊNCIAS

CUMMINS, J. J. *et al.* **Experimental evaluation of the efficiency of a pneumatic strain energy accumulator**. International Journal of Fluid Power, v. 18, n. 3, p. 167–18, nov. 2017. Disponível em: <https://journals.riverpublishers.com/index.php/IJFP/article/view/15>. Acesso em: 05 abr. 2024.

ATLAS COPCO. **Manual Prático - Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. Disponível em: <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/air-compressor-blog/eficiencia-energetica-no-sistema-de-ar-comprimido-guia-completo>. Acesso em: 05 abr. 2024.

ARCOMPRIMIDO.COM.BR. **Sistema de Geração de Ar Comprimido**. Disponível em: <https://arcomprimido.com.br/sistema-de-geracao-de-ar-comprimido/>. Acesso em: 05 abr. 2024.

METALPLAN. **Manual de Ar Comprimido**. 6. ed. 2017.

REVISTA de engenharia e meio ambiente, v. 9, n. 2, 2024. DOI: 10.21574/remipe.v9i2.434. Disponível em: <https://remipe.fatecosasco.edu.br/index.php/remipe/article/view/434>. Acesso em: 05 abr. 2024.

ATLAS COPCO. **Entendendo o Custo Total do Ar Comprimido**. Disponível em: <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/wiki/compressed-air-articles/cost-of-compressed-air>. Acesso em: 05 abr. 2024.

ERSE. **Manual de Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. Disponível em: <https://www.erse.pt/media/wqvjvee2/mee_sistemasarcomprimido_adene_ppec2013-2014.pdf>. Acesso em: 05 abr. 2024.

FESTO. **Manual de Eficiência Energética em Sistemas de Ar Comprimido**. Disponível em: <https://www.festo.com/media/pim/555/D15000100140555.PDF>. Acesso em: 05 abr. 2024.

Sousa, J. C. de, Alves, R. D., Santos, F. N. P. dos, Teixeira, J., Domingues, L. C., Primo, W. B., & Rosa Ferreira, A. (2023). **Conservação e reutilização de ar comprimido em reservatório de látex**. REMIPE - Revista De Micro E Pequenas Empresas E Empreendedorismo Da Fatec Osasco, 9(2), 231–260. https://doi.org/10.21574/remipe.v9i2.434.

Capítulo

10

Estratégias para eficiência, desafios e sucessos na implementação da manutenção produtiva total no setor metalmecânico

Strategies for efficiency, challenges and successes in implementing total productive maintenance in the metalworking sector

Cleber Rodrigues de Souza
Graduando do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial na FATEC Osasco
Ricardo de Freitas Zandona
Graduando do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial na FATEC Osasco
Sandro Andre Cardoso
Graduando do Curso de Tecnologia em Manutenção Industrial na FATEC Osasco
Deocleciano Reis Martins
Especialista em Gestão de Projetos Organizacionais e Professor na FATEC Osasco
Fernando Santos de Oliveira
Mestre em Engenharia de Produção e Professor na FATEC Osasco

RESUMO

Este trabalho apresenta uma revisão sistemática em indústrias do segmento metalmecânico, com foco na identificação de atributos, fatores críticos de sucesso e barreiras para implementação eficaz da Manutenção Produtiva Total (TPM). O estudo aborda aspectos como história, importância, pilares, obstáculos e procedimentos de implementação da TPM, destacando a escassez de modelos de implementação voltados para o setor de manufatura na literatura atual. Os resultados revelam a necessidade de investigar melhores práticas e exemplos de sucesso na implementação da TPM nesse contexto específico. Além disso, são identificados fatores críticos de sucesso derivados de uma revisão extensiva da literatura, com implicações práticas significativas para gestores de produção e manutenção, visando promover a satisfação dos colaboradores e o aprimoramento das operações industriais.

Palavras-chave: manutenção produtiva total; fatores críticos de sucesso implementação eficiente.

ABSTRACT

This study presents a systematic review in manufacturing industries, focusing on identifying attributes, critical success factors, and barriers for effective implementation TPM . The study addresses aspects such as history, importance, pillars, obstacles, and TPM implementation procedures, highlighting the scarcity of implementation models tailored to the manufacturing sector in current literature. Results reveal the need to investigate best practices and successful examples in TPM implementation in this specific context. Additionally, critical success factors derived from an extensive literature review are identified, with significant practical implications for production and maintenance managers aiming to promote employee satisfaction and enhance industrial operations.

Keywords: total productive maintenance; critical sucess factors; efficient implementation.

INTRODUÇÃO

A Manutenção Produtiva Total (TPM) envolve engajamento de todos os colaboradores nos processos de produção, máquinas e equipamentos, visando à otimização de recursos e à gestão estratégica para preservação de ativos nas instalações industriais.

Quando a gestão estratégica é bem planejada, ela pode contribuir para redução de desperdícios e melhoria na eficiência do processo de manutenção, contribuindo para prevenção de falhas e ocorrências que afetam o desempenho de máquinas e equipamentos da organização (Adesta *et al.,* 2018). Além disso, estudos recentes destacam a importância da eficiência em máquinas e equipamentos (Tatar; Ingalgi, 2022; Sharma *et al.,* 2020).

O sucesso de qualquer setor manufatureiro depende do monitoramento e controle dos custos de operações e manutenção, quando esses afetam diretamente a produtividade, qualidade, segurança e o meio ambiente (Seleem *et al.,* 2018). Nesse contexto, Patil e Raut (2019) relacionaram a TPM como ferramenta essencial para aumentar a disponibilidade de equipamentos e reduzir a necessidade de maiores investimentos de capital.

Para Sharma *et al.* (2020), a TPM é essencial para a abordagem da manufatura enxuta, com foco na eficiência operacional, redução de custos e melhoria da confiabilidade dos equipamentos em um ambiente de produção.

Visando redução de custos e melhoria nas indústrias, o reconhecido Instituto Japonês de Manutenção de Plantas Industriais (JIPM, 2023) propôs oito pilares para TPM, que fornecem uma maneira sistemática de otimizar a eficiência da produção e equipamentos, considerando a metodologia dos cinco sensos (5S). A implementação da prática 5S é uma fase fundamental da TPM, que agrega valor aos sistemas de produção, melhorando a eficiência da organização e a motivação dos funcionários (Singh e Singh, 2019).

No entanto, observa-se que existem muitos obstáculos para a implementação eficaz da TPM, particularmente em indústrias do setor de manufatura (Toke e Kalpande, 2020). Diante desses desafios, o setor tem desenvolvido estratégias para melhorar continuamente tanto a qualidade quanto a produtividade de seus produtos (Díaz-Reza *et al.,* 2018).

Neste estudo, inicialmente apresenta-se uma visão geral e revisão da TPM, particularmente no contexto das indústrias de manufatura, o que permitiu identificar algumas lacunas existentes na literatura. O objetivo principal deste trabalho foi identificar atributos, barreiras e fatores críticos de sucesso para uma implementação eficaz da TPM.

REVISÃO DA LITERATURA

Vários pesquisadores classificaram a TPM em elementos de médio e longo prazo (Nallusamy *et al.,* 2018; Ribeiro *et al.,* 2019; Bashar *et al.,* 2020;). Os elementos de médio prazo são mais focados na manutenção autônoma e na manutenção planejada, além do treinamento dos funcionários de manutenção para o desenvolvimento de habilidades. Enquanto os elementos de longo prazo são mais focados no projeto de aquisição de novos equipamentos que envolve práticas inovadoras (Hashim *et al.,* 2012; Kundu *et al.,* 2020).

Para Díaz-Reza *et al.* (2018), a manutenção planejada geralmente é classificada em quatro grupos: manutenção corretiva, preventiva, preditiva e produtiva, visando assegurar que as máquinas e equipamentos funcionem sem grandes problemas ou quebras.

Sharma *et al.* (2020) afirmaram que TPM não é uma simples combinação desses grupos, mas enfatiza a promoção da manutenção por meio da manutenção autônoma, a qual incentiva atividades em pequenos grupos, visando maximizar a eficácia dos equipamentos ao se eliminar fontes de desperdícios e ineficiências que frequentemente prejudicam a produtividade.

O foco da manutenção de qualidade está em eliminar não conformidades de forma sistemática, que aliada a manutenção planejada, pode promover uma evolução do método reativo para o proativo, no qual times de manutenção treinados melhoram a manutenção de máquinas e equipamentos (Mukhedkar, 2020).

A educação e treinamento aos colaboradores tem função primordial para desenvolver seus talentos e habilidades. Os níveis de habilidade são melhorados por meio de treinamentos e práticas consistentes. De acordo com Bartz *et al.* (2014) existem três níveis de qualidade do trabalho, são eles, nível de reparo: as pessoas seguem instruções, mas não conseguem prever o futuro, ou seja, elas simplesmente reagem aos problemas; nível de prevenção: as pessoas conseguem prever problemas futuros e tomar ações corretivas adequadas; nível de melhoria: as pessoas conseguem prever problemas, agindo proativamente com medidas corretivas, mas também propondo melhorias para evitar recorrências.

Apesar da importância da TPM e seus atributos, algumas indústrias de manufatura têm utilizado um foco limitado aos sistemas de gestão, sendo vital o envolvimento dos gestores para desenvolver um programa de manutenção centrado na confiabilidade, com integração cada vez mais próxima do pessoal de produção e manutenção (Thorat e Mahesha, 2020).

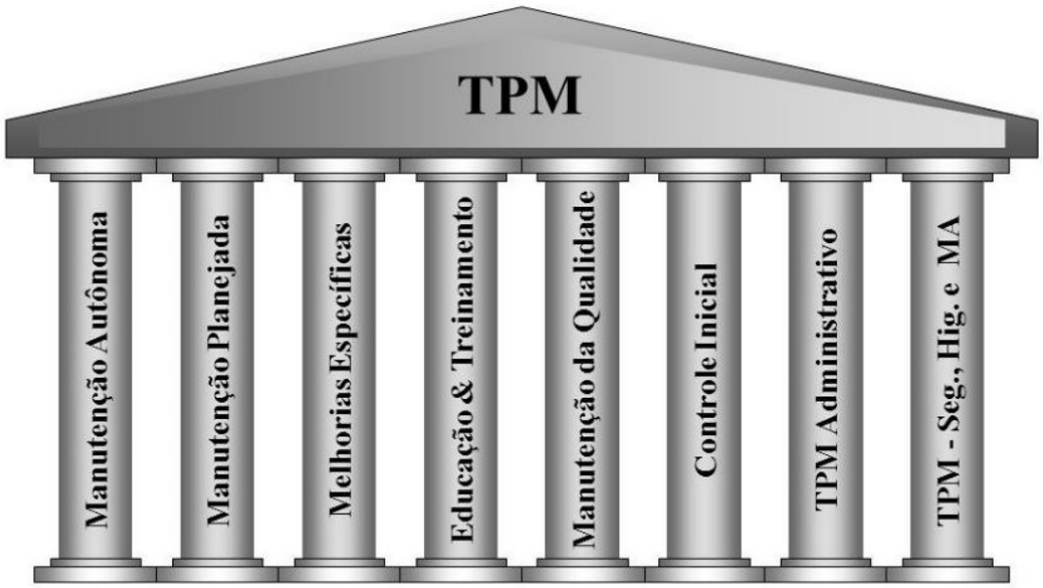
De acordo com Seleem *et al.* (2018) existem seis habilidades de valor no local de trabalho para cumprir uma relação integrada, aprimorando habilidades necessárias tanto para os operadores quanto para o pessoal de manutenção.

De acordo com Jain *et al.* (2014), as iniciativas da TPM têm como foco eliminar as principais perdas e desperdícios associados ao sistema de produção, mediante avaliações contínuas e sistemáticas do sistema de produção. A maneira sistemática de otimizar a eficiência de máquinas e equipamentos também considera a interação entre pessoas e equipamentos com foco nos pilares para a implementação eficaz da TPM (Hashim *et al.,* 2012).

Segundo Toke e Kalpande (2020), TPM é um programa para aumentar a eficiência de máquinas e processos, que se baseia em oito pilares, incluindo o 5S em sua base. Nesse sentido, a prática 5S torna-se uma fase preparatória da TPM, que é uma técnica utilizada para estabelecer e manter um ambiente de qualidade em uma organização. Um local de trabalho organizado motiva as pessoas, tanto no chão de fábrica quanto em outras áreas funcionais.

Singh e Singh (2019) estudaram vários benefícios da implementação do 5S. Ele identificou que a implementação do 5S aumenta a moral, cria impressões positivas nos clientes e aumenta a eficiência da organização. Os funcionários se sentirão melhores no trabalho, transformando o ambiente ao seu redor, o que pode tornar a empresa mais lucrativa e competitiva no mercado. Após estabelecer essa base 5S, o programa de TPM é desenvolvido construindo seus pilares. O plano de implementação da TPM com oito pilares proposto pelo JIPM é representado na Figura 1.

Figura 1 - Oito pilares da TPM sugeridos pelo JIPM.



Fonte: Elaborada pelos Autores (2024).

Pilares da TPM e identificação de fatores críticos de sucesso

"Manutenção Autônoma" é o pilar que visa o desenvolvimento do senso de propriedade sobre o equipamento pelos colaboradores. Isso é uma contradição à abordagem tradicional da engenharia, na qual até mesmo os problemas menores de manutenção são geralmente atendidos pelo pessoal do departamento de manutenção (Jain *et al.,* 2014).

O pilar da "Manutenção Planejada" segue uma abordagem estruturada para

estabelecer um sistema de gerenciamento que aumente a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos com custo adequado (Ribeiro *et al.,* 2019). Assim, aspectos fundamentais desse pilar é o controle dos custos de manutenção e a eliminação de perdas.

Estudos realizados por Nallusamy *et al.* (2018) verificaram que existem seis grandes perdas associadas a implementação da TPM nas indústrias, são elas, perdas por quebra, por preparação e ajustes, por pequenas paralizações, por redução de velocidades, por retrabalhos e perdas iniciais de fase de projeto.

Um exemplo para "Melhorias Específicas" está quando um colaborador busca melhorar seu nível de atendimento às falhas de manutenção. De acordo com Singh e Singh (2019), analisar falhas de manutenção por meio de ferramentas adequadas ajuda a atuar no processo de análise e medição de desempenho. Este pilar desenvolve habilidades nas equipes para serem autossuficientes na aplicação de abordagens apropriadas para resolução de problemas.

Para construir pilar de "Manutenção da Qualidade", a organização precisa introduzir a cultura de filosofia "zero defeitos" e usar todos os recursos, incluindo equipamentos, para alcançar a melhoria contínua da qualidade. Isso pode ser feito controlando as interações do processo entre mão de obra, material, máquinas e métodos que poderiam permitir a ocorrência de defeitos. Segundo Thorat e Mahesha (2020), essa cultura busca prevenir defeitos, sem instalar sistemas rigorosos de inspeção para detectar defeitos no final da linha de produção, contribuindo para redução de custos em empresa à medida que são reduzidos os desperdícios com retrabalho, a necessidade de inspeção e número de reclamações nos clientes.

"Processos Administrativos" é o pilar no qual métodos inteligentes e atividades administrativas devem ser promovidos, visando apoiar as atividades de TPM. Uma redução adicional de custos na manutenção de equipamentos deve ser suportada pelas atividades administrativas autônomas. Esta é uma ênfase única da TPM, já que nenhum outro modelo de melhoria contínua apresenta esse papel de apoio aos processos organizacionais (Digalwar e Padam, 2014).

Esse pilar se concentra em todas as áreas que fornecem funções administrativas e de suporte na empresa, assegurando que todos os processos apoiem a otimização da produção e manutenção, sendo concluídos a um melhor custo-benefício com redução de perdas funcionais.

O pilar referente a "Educação e Treinamento" busca assegurar que os funcionários sejam capacitados nas habilidades identificadas como essenciais, tanto para o seu desenvolvimento pessoal, quanto para uma implementação bem-sucedida da TPM, levando-se em consideração os objetivos estratégicos e metas da empresa (Gupta e Chandna, 2020).

O pilar de "Segurança, Saúde e Meio Ambiente" abrange a abordagem humana e busca implementar uma metodologia em direção à conquista de "zero acidentes". De acordo com este pilar, o programa de TPM deve desenvolver uma política de meio ambiente, saúde e segurança com o compromisso e apoio da alta administração (Venkatesh, 2007)

A construção do pilar de "Controle Inicial" permite ao programa de TPM uma revisão de projetos para prevenir erros, conflito de informações, dados de processos de fabricação e definição dos tempos de ciclo dos equipamentos empregados nas instalações industriais. Depois de construir esses pilares, o programa de TPM é responsável por contribuir com alto nível de qualidade da manutenção (Patil e Raut, 2019).

A implementação desses pilares proporciona redução de tempos de processos de produção, melhorias de OEE e capacidade de entrega em volume com qualidade adequada a partir do início da produção. Economias de custo podem ser alcançadas tanto durante a fase de introdução quanto ao longo do ciclo de vida do equipamento ou produto.

Alguns autores afirmam que OEE é o único parâmetro que tem a capacidade de indicar a qualidade da manutenção do equipamento (Adesta *et al.,* 2018). No entanto, Bataineh *et al.* (2019) afirmam que o OEE por si só não pode ser considerado um indicador de desempenho de programas de TPM.

De acordo com a política de gestão, um ou mais parâmetros de medição de desempenho podem ser escolhidos para medir o nível de qualidade da manutenção do equipamento. Na literatura está disponível a aplicação de TPM em diferentes empresas do segmento de manufatura (Adesta *et al.,* 2018; Kundu *et al.,* 2020; Tatar e Ingalgi, 2022).

Essas abordagens indicam a habilidade da TPM para desempenhar papel fundamental na revolução da gestão de manutenção e abordagens de engenharia e, assim, ganhar uma posição de referência nas práticas adotadas pelas indústrias de manufatura.

Conforme Gupta e Chandna (2020), um resultado estratégico com a implementação da TPM é a redução de ocorrências e quebras inesperadas, obtendo-se melhorias de produtividade, custo, qualidade, entrega, segurança e moral dos funcionários da organização.

A determinação dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS) foi baseada nas contribuições identificadas nos estudos dos autores elencados na Tabela 1 a seguir. Verifica-se que a maioria das pesquisas identificadas na literatura, concentraram-se em um ou mais parâmetros-chave para a implementação adequada da TPM nas indústrias manufatureiras.

Tabela 1 - Fatores Críticos de Sucesso para TPM identificados na literatura.

Autores	Manutenção Autônoma	Manutenção Planejada	Manutenção de Qualidade	Foco na Melhoria Contínua	Gestão Antecipada do Equipamento	Educação e Treinamento	Saúde, Segurança e Meio Ambiente	Processos Administrativos
Kumar e Ellingsen (2000)							•	
Ireland e Dale (2001)		•						
Chan *et al*. (2005)		•						
Heine *et al*. (2006)	•	•	•	•	•	•	•	•
Gosavi (2006)			•				•	
Ahuja e Khamba (2008)				•	•			
Hashim *et al*. (2012)				•				
Jain *et al*. (2014)	•	•	•	•	•	•	•	•
Bartz *et al*. (2014)						•		
Digalwar e Padam (2014)							•	

Fonte: Elaborada pelos Autores (2024).

Os vários subfatores associados a esses FCS identificados na TPM foram extraídos na Tabela 2. A referida Tabela 2 mostra os achados pelo presente estudo com base nos pesquisadores mencionados acima, que se concentra na utilidade dos FCS identificados para TPM (Kumar e Ellingsen, 2000; Ireland e Dale, 2001; Chan *et al.,* 2005; Heine *et al.,* 2006; Gosavi, 2006; Ahuja e Khamba, 2008; Hashim *et al.,* 2012; Jain *et al.,* 2014; Bartz *et al.,* 2014; Digalwar E Padam, 2014).

Tabela 2 - Achados sobre principais fatores críticos de sucesso para TPM e suas aplicações.

TPM-FCS	O que é?	Como pode ajudar as empresas?
Manutenção Autônoma	Transfere a responsabilidade pela manutenção de rotina, tais como limpeza, lubrificação, inspeção, entre outras para os próprios operadores.	Proporciona aos operadores maior responsabilidade e autonomia sobre seus equipamentos. Aumenta o conhecimento dos operadores sobre seus equipamentos Assegura que os equipamentos e o local de trabalho esteja limpo e organizado. Identifica problemas antes que se tornem falhas Libera o pessoal de manutenção para tarefas críticas e de alta complexidade.
Manutenção Planejada	Agenda tarefas de manutenção com base em taxas de falha previstas e/ou medidas.	Reduz significativamente as ocorrências de paradas não planejadas. Permite que a maioria da manutenção seja programada para momentos em que o equipamento não está produzindo. Reduz o inventário por meio de um melhor controle das peças sujeitas a desgaste e falhas.
Manutenção de Qualidade	Incorporar detecção e prevenção de erros de projeto nos processos de produção. Aplicar análise de causa raiz para eliminar fontes recorrentes de defeitos de qualidade.	Alvos específicos de problemas de qualidade com projetos de melhoria focado na remoção de causa raiz de defeitos. Reduz o número de defeitos Reduz custos ao identificar previamente um defeito.
Foco na Melhoria Contínua	Formar pequenos grupos de pessoas que trabalhem de forma proativa para alcançar melhorias regulares e incrementais.	Problemas recorrentes são identificados e resolvidos por equipes multifuncionais. Combina os talentos coletivos de uma empresa para criar um motor de melhoria contínua.
Gestão Antecipada	Aproveitar conhecimento técnico e compreensão da equipe de TPM para melhorar o projeto de novos equipamentos de produção adquiridos.	Novos equipamentos atingem níveis de desempenho planejados mais rapidamente devido integração na fase de concepção do projeto. A manutenção é mais simples e robusta devido à revisão prática e envolvimento dos funcionários antes da instalação do equipamento.
Educação e Treinamento	Preenche as lacunas de conhecimento necessárias para alcançar os objetivos da TPM. Aplica-se a operadores, pessoal de manutenção e gestores.	Os operadores desenvolvem habilidades para realizar a manutenção rotineira dos equipamentos e identificar problemas emergentes. O pessoal de manutenção aprende técnicas com foco na manutenção proativa, preventiva e preditiva. Os gestores recebem treinamento sobre os princípios da TPM, bem como sobre o coaching e desenvolvimento de pessoas.
Saúde, Segurança e Meio Ambiente	Manter um ambiente de trabalho seguro e saudável.	Elimina potenciais riscos à saúde e segurança, o que resulta em um local de trabalho mais seguro. Tem como objetivo específico um ambiente de trabalho livre de acidentes.
Processos Administrativos	Aplicar técnicas de TPM às funções administrativas.	Estende os benefícios da TPM além do chão de fábrica ao abordar o desperdício nas atividades administrativas. Oferece suporte à produção por meio de melhorias nas operações administrativas (por exemplo, processamento de pedidos, aquisição e programação).

Fonte: Elaborada pelos Autores (2024).

Além de todos esses benefícios, é observado que as indústrias manufatureiras vêm enfrentando problemas na implementação da TPM. O estudo detalhado sobre as principais barreira na implementação da TPM é revisado na próxima seção.

Barreiras para implementação da TPM

Os pesquisadores Jain *et al.* (2017) observaram algumas razões para o fracasso da implementação da TPM em indústrias de manufatura indianas. Eles concluíram que TPM não é uma metodologia de solução rápida, na qual apresenta-se resultados instantâneos, mas requer compromisso, dedicação e comporметimento por parte da alta direção.

Mukhedkar (2020) identificou várias razões-chave para a forte resistência à implementação da TPM. Eles observaram que a falta de apoio da direção, a dificuldade em compreender a filosofia por parte dos coordenadores do chão de fábrica e o longo tempo necessário para implantação da metodologia estão entre os principais obstáculos na implementação da TPM. O papel de liderança e comprometimento da alta administração tem sido frequentemente apontado em muitos estudos como influência decisiva sobre o sucesso de implementação da TPM (Bataineh *et al.,* 2019; Bashar *et al.,* 2020).

Estudo recentes relataram que há uma alta resistência por parte dos operadores do chão de fábrica e do pessoal de manutenção (Tatar e Ingalgi, 2022). Nesse sentido, o apoio constante da alta direção torna-se crucial para superar essa resistência, especialmente durante o período de transição (Singh e Singh, 2019).

Outro estudo identificou também falhas com relação ao tempo suficiente para a evolução do programa de TPM; atitudes equivocadas da direção de diminuir custos por meio da redução de mão de obra; resistência à adoção de avanços tecnológicos; falta de incentivo organizacional e treinamento insuficiente (Jain *et al.,* 2017).

De acordo com Kundu *et al.* (2020) e Sharma *et al.* (2020), com a filosofia TPM pode-se alcançar a maximização da eficiência dos equipamentos por meio da participação dos colaboradores, além do uso da manutenção autônoma nas atividades de pequenos grupos para melhorar a confiabilidade, manutenibilidade e produtividade. No entanto, TPM não é simples de ser implementado; na verdade, é um conceito muito complexo, mas se uma empresa tem como objetivo primordial a alta qualidade de seus serviços e produtos, ela precisa seguir algumas filosofias básicas, que normalmente se constroem umas sobre as outras, desenvolvendo uma cultura positiva para obter melhorias significativas nas instalações de produção.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

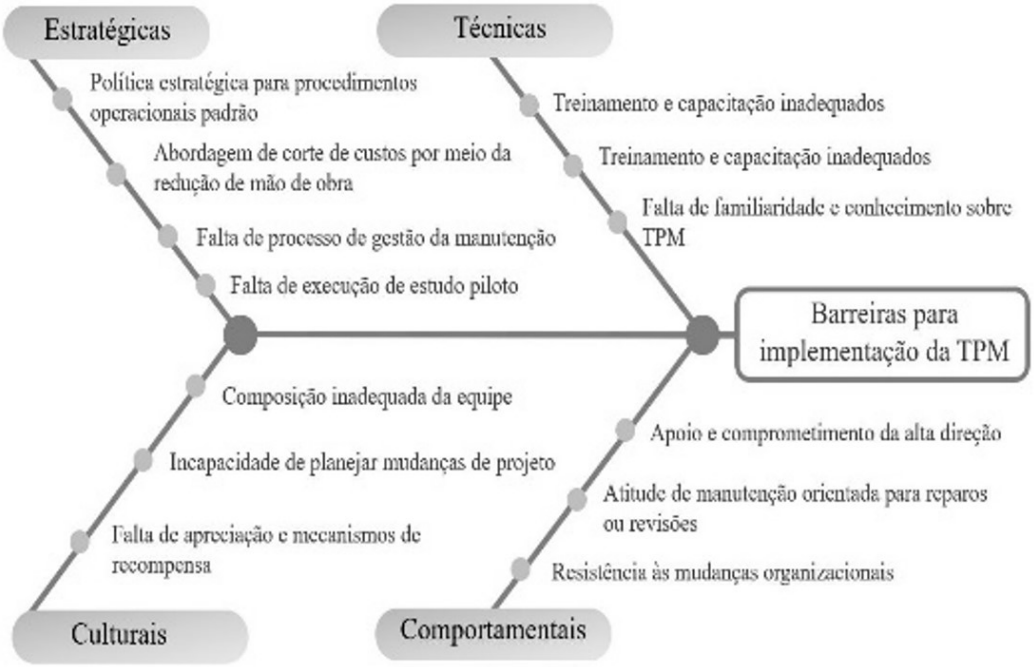
O foco dessa pesquisa foi identificar atributos, barreiras e fatores críticos de sucesso para implementação da TPM em indústrias de manufatura. Observou-se que o desenvolvimento de um modelo de TPM, aliado à gestão da qualidade total, torna-se uma das maneiras de identificar esses fatores críticos de sucesso. Por outro lado, a lucratividade e a redução de custos são alguns dos principais motivadores para as empresas implementarem a TPM. O setor manufatureiro desempenha um papel significativo no desenvolvimento econômico atual, mas observações realizadas com base na literatura, verificou-se que existem lacunas que precisam ser vencidas para uma implementação eficaz da TPM.

Este trabalho revelou também que a implementação de TPM no setor de manufatura

ainda não é amplamente adotada e nota-se a carência de estudos na tentativa de entender a TPM como força no engajamento e comprometimento das pessoas, bem como a alocação adequada de recursos no contexto das indústrias manufatureiras.

Com base na análise da literatura foi possível identificar barreiras que inibem a implementação da TPM, agrupadas na Figura 2.

Figura 2 - Categorização de barreiras para implementação da TPM.



Fonte: Elaborada pelos Autores (2024).

Para facilitar o entendimento, as categorias apresentadas na Figura 2 foram agrupadas, pela frequência que apareceram nos artigos consultados, destacaram-se quatro grupos de barreiras: estratégicas, técnicas, culturais e comportamentais, com derivações de fatores que normalmente dificultam a implementação adequada da TPM. Com base nesses artigos, verificou-se que alguns modelos mostraram ser pouco úteis para o setor manufatureiro, pois relataram que precisam de apoio e esforços, condições necessárias para superar resistências existentes na implementação.

A partir dessa revisão bibliográfica foram identificados oito principais fatores críticos de sucesso (FCS). Alguns atributos também foram derivados desses oito FCS para obter atenção e serem mais aprofundados no estudo sobre TPM e estão apresentados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Lista de Fatores Críticos de Sucesso para TPM e seus atributos.

Melhoria da produtividade	pelo uso eficiente de energia pela disponibilidade de materiais pelos equipamentos individual
Melhoria da qualidade	por meio de reclamações de clientes com suporte a reclamações internas e externas por meio de manutenção de equipamentos dos produtos
Redução de custos	devido à manutenção devido à mão de obra devido à operação devido ao consumo excessivo de energia devido a quebras
Desempenho de entrega	assegurada garantida pontual
Segurança e saúde ocupacional	para remediação de acidentes para fatores ambientais para redução e controle de poluição
Melhoria do moral	por meio de estímulos aos funcionários de equipes dedicadas para reuniões de TPM na coordenação e espírito de equipe por meio de feedback e feedforward
Apoio ao ambiente de trabalho	da alta administração aos operadores dos equipamentos por meio de comunicação assertiva por meio de capacitação por meio de autoavaliação
Vantagens competitivas	com agregação de valor aos produtos com satisfação e tempo de resposta aos clientes com assistência a serviços e produtos

Fonte: Elaborada pelos Autores (2024).

Reconhece-se que a TPM, quando bem planejada e implementada, proporciona aumento da disponibilidade, eficiência produtiva e taxa de desempenho elevados para qualidade, além de resultar na melhoria do OEE dos equipamentos.

A compreensão dos tópicos abordados por diferentes pesquisadores, mesmo dentro de um setor específico, aponta a necessidade de desenvolver um modelo de TPM que seja capaz de fornecer uma maneira prática de implementar a TPM nas indústrias manufatureiras.

Acredita-se que esse estudo possa contribuir com gestores, pesquisadores e acadêmicos a se concentrarem em fatores-chave de sucesso, mitigando barreiras para a implementação efetiva de programas de TPM, tornando-os referência para o setor de manufatura.

REFERÊNCIAS

ADESTA, E.Y.T.; PRABOWO, H.A.; AGUSMAN, D. **Evaluating 8 pillars of Total Productive Maintenance (TPM) implementation and their contribution to manufacturing performance**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018.

AHUJA, I.P.S; KHAMBA, J.S. **Assessment of contributions of successful TPM initiatives towards competitive manufacturing**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2008.

BARTZ, T.; CEZAR, M.S.; PAULA, B.B. **Improvement of industrial performance with TPM implementation**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2014.

BASHAR, A.; HASIN, A.A.; JAHANGIR, N. **Linkage between TPM, people management and organizational performance**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2020.

BATAINEH, O.; AL-HAWARI, T.; ALSHRAIDEH, H.; DALALAH, D. **A sequential TPM-based scheme for improving production effectiveness presented with a case study.** Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2019.

CHAN, F.T.S.; LAU, H.C.W.; IP, R.W.L.; CHAN, H.K.; KONG, S. **Implementation of total productive maintenance: A case study**. International journal of production economics, 2005.

DÍAZ-REZA, J.R.; GARCÍA-ALCARAZ, J.L.; AVELAR-SOSA, L.; MENDOZA-FONG, J.R.; SÁENZ DIEZ-MURO, J.C.; BLANCO-FERNÁNDEZ, J. **The role of managerial commitment and TPM implementation strategies in productivity benefits**. Applied Sciences, 2018.

DIGALWAR, A.K.; PADAM, P.V. **Implementation of total productive maintenance in manufacturing industries: a literature-based metadata analysis**. The IUP Journal of Operations Management, 2014.

GOSAVI, A. **A risk-sensitive approach to total productive maintenance**. Automatica, 2006.

GUPTA, S.; CHANDNA, P. A case study concerning the 5S lean technique in a scientific equipment manufacturing company. Grey Systems: Theory and Application, 2020.

HASHIM, S.; HABIDIN, N.F.; CONDING, J. AIN, N.; JWAYA, S.L.; ZUBIR, A.F. **Total productive maintenance and innovation performance in Malaysian automotive industry**. International Journal of Engineering Research and Development, 2012.

HEINE, S.; PROULX, T.; VOHS, K. **The meaning maintenance model: On the coherence of social motivations**. Personality and social psychology review, 2006.

IRELAND, F.; DALE, B.G. **A study of total productive maintenance implementation.** Journal of quality in maintenance engineering, v. 7, n. 3, p. 183-192, 2001.

JAPAN INSTITUTE OF PLANT MAINTENANCE. ***Japan Institute of Plant Maintenance. JIPM***. Disponível em: <http://www.advanced-eng.com.br/>. Acesso em: 07. abr., 2023.

JAIN, A.; BHATTI, R.S.; SINGH, H. **An ISM approach to identify key sucess behind the TPM implementation in Indian SMEs**. International Journal of Production and Quality Management, 2017.

JAIN, A.; BHATTI, R.; SINGH, H. **Total productive maintenance (TPM) implementation practice**: A literature review and directions. International Journal of Lean Six Sigma, 2014.

KUMAR, U.; ELLINGSON, H.P. **Development and implementation of maintenance performance indicators for the Norweigan oil and gas industry**. In: Proceedings of the 14th International Maintenance Congress, 2000.

KUNDU, K.; CIFONE, F.; COSTA, F.; PORTIOLI-STAUDACHER, A.; ROSSINI, M. **Na evaluation of preventive maintenance framework in na Italian manufacturing company**. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2020.

MUKHEDKAR, D.K. I**mpact of TPM Implementation on Organization Competitiveness.** International Journal of Research and Analytical Reviews, 2020.

NALLUSAMY, S.; KUMAR, V.; YADAV, V.; PRASAD, U.K.; SUMAN, S.K. **Implementation of total productive maintenance to enhance the overall effectiveness in medium scale industries**. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 2018.

PATIL, L.; RAUT, N. **Study of total productive maintenance and improving the production**. International of Research and Analytical Reviews, 2019.

RIBEIRO, I.; GODINA, R.; PIMENTEL, C.; SILVA, F.; MATIAS, J. **Implementing TPM supported by 5S to improve the availability of na automotive production line**. Procedia Manufacturing, 2019.

SELEEM, S.; ATTIA, E.A.; EL-ASSAL, A. **Identification of critical success factors for total productive maintenance**. The International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering, 2018.

SHARMA, A.K.; JOSHI, A.; JURWALL, V. **Performance measurement metrics in TPM: a contextual view to training and development.** Materials Today: Proceedings, 2020.

SINGH, J.; SINGH, H. **Justification of TPM pillars for enhancing the performance of manufacturing industry of Northern India**. International Journal of Productivity and Performance Management, 2019.

TATAR, D.K.; INGALDI, M. **Digitization of processes in manufacturing SMEs-value stream mapping and OEE analysis.** Procedia Computer Science, 2022.

THORAT, R.; MAHESHA, G.T**. Improvement in productivity through TPM implementation**. Materials Today: Proceedings, 2020.

TOKE, L.K.; KALPANDE, S.D. **Total quality management in small and medium enterprises**: An overview in Indian context. Quality Management Journal, 2020.

Capítulo

11

A inteligência artificial na manutenção preditiva: avanços, aplicações e impacto

Artificial intelligence in predictive maintenance: advances, applications and impact

Ronaldo Martiniano
Felipe da Silva Estevão
Lucas Henrique Andrade dos Santos
Paulo Orestes Formigoni
Professor Dr. orientador

RESUMO

A Inteligência Artificial tem impulsionado a manutenção preditiva para novos patamares de eficácia e eficiência, oferecendo benefícios tangíveis em termos de redução de custos, aumento da confiabilidade operacional e otimização de recursos em uma variedade de setores industriais. As empresas estão a reconhecer cada vez mais o potencial da Inteligência Artificial (IA) para melhorar os seus resultados e permanecer competitivas num cenário de mercado globalizado e em constante evolução. Este trabalho tem como objetivo explorar o papel da inteligência artificial na manutenção preditiva, examinando seus avanços tecnológicos, aplicações práticas e o impacto resultante na eficiência operacional e na redução de custos em diversos setores industriais. O presente estudo empregou procedimentos metodológicos típicos de pesquisa bibliográfica. Desenvolvido com base em material publicado em livros, periódicos, jornais, redes eletrônicas, ou seja, material acessível ao público, sobre o qual foi realizada a revisão da literatura para fornecer a fundamentação teórica para a análise temática do estudo. Pode-se concluir que as ferramentas de Inteligência Artificial, como o *Machine Learning*, têm grande potencial na análise de uma grande quantidade de dados, o que pode resultar em sistemas mais disponíveis, redução de custos de manutenção, melhor desempenho operacional e apoio na tomada de decisões.

Palavras-chave: manutenção; inteligência artificial; inovação.

ABSTRACT

Artificial Intelligence has driven predictive maintenance to new levels of effectiveness and efficiency, offering tangible benefits in terms of cost reduction, increased operational reliability and resource optimization across a variety of industrial sectors. Companies are increasingly recognizing the potential of Artificial Intelligence (AI) to improve their results and remain competitive in a globalized and constantly evolving market scenario. This work aims to explore the role of artificial intelligence in predictive maintenance, examining its technological advances, practical applications and the resulting impact on operational efficiency and cost reduction in various industrial sectors. The present study used typical methodological procedures for bibliographical research. Developed based on material published in books, periodicals, newspapers, electronic networks, that is, material accessible to the public, on which a literature review was carried out to provide the theoretical foundation for the thematic analysis of the study. It can be concluded that Artificial Intelligence tools, such as Machine Learning, have great potential in analyzing a large amount of data, which can result in more available systems, reduced maintenance costs, better operational performance and support in taking of decisions.

Keywords: maintenance; artificial intelligence; innovation.

INTRODUÇÃO

A inteligência artificial (IA) emergiu como uma das tecnologias mais promissoras e transformadoras do século XXI. As suas potenciais aplicações em diversas indústrias e setores têm atraído atenção e investimento significativos de investigadores, empresas e decisores políticos em todo o mundo. De acordo com Ystgaard *et al.* (2023), a capacidade de simular o pensamento humano e aprender com os dados impulsionou avanços significativos em diversos setores da sociedade. A indústria não é exceção, pois tem adotado cada vez mais soluções baseadas em IA para impulsionar a eficiência, a produtividade e a inovação (Martins, 2017).

No Brasil, país com uma indústria robusta e diversificada, o uso da inteligência artificial está se tornando uma realidade cada vez mais prevalente. De acordo com Moura e Kohl (2020), as empresas estão a reconhecer cada vez mais o potencial da Inteligência Artificial (IA) para melhorar os seus resultados e permanecer competitivas num cenário de mercado globalizado e em constante evolução. Da automação de processos ao enfrentamento de tarefas complexas de tomada de decisões, a IA está sendo implantada em diversas funções de negócios para impulsionar a eficiência e a inovação.

A melhoria contínua dos processos e o espírito de inovação são realidades que podem ser observadas de diversas formas nas diferentes áreas que compõem uma empresa. É fundamental buscar uma diferenciação que possibilite uma melhoria do posicionamento estratégico no mercado atual. Um dos setores que pode representar um custo significativo e que tem levado as empresas a implementar um desenvolvimento contínuo é o setor de manutenção. É crucial que as organizações se concentrem na melhoria das suas práticas de manutenção para minimizar custos e aumentar a eficiência operacional (Gilchrist, 2016).

A manutenção desempenha um papel vital para garantir que o equipamento funcione de forma ideal e que o tempo de inatividade seja minimizado, permitindo assim operações tranquilas e aumento da produtividade. Implementando uma abordagem de melhoria contínua no setor de manutenção pode levar a vários benefícios para as organizações, incluindo redução de custos, maior confiabilidade dos ativos e aumento da eficácia geral do equipamento. É essencial que as empresas priorizem o desenvolvimento de suas práticas de manutenção para se manterem competitivas no mercado atual.

Nos últimos anos, uma diminuição no custo e um aumento na confiabilidade dos sensores, dispositivos de transmissão e armazenamento de dados facilitaram o desenvolvimento de sistemas de monitoramento de condições. Simultaneamente, a Internet das Coisas (IoT) permite a transmissão em tempo real de informações sobre as condições dos sistemas captados por diversos dispositivos de monitoramento. Este avanço apresenta uma excelente oportunidade para utilizar dados de monitoramento de condições de forma inteligente em regimes de manutenção preditiva, combinando capacidades de coleta de dados com análises eficazes e integradas dos mesmos (Paolant *et al.,* 2018).

Neste contexto, o potencial das ferramentas de Inteligência Artificial, especificamente o *Machine Learning,* prevê com segurança uma melhoria na disponibilidade do sistema, redução de custos de manutenção, aumento do desempenho operacional e melhoria da capacidade de suporte à decisão em relação ao timing e ação ideal para intervenção de manutenção.

Este trabalho tem como objetivo explorar o papel da inteligência artificial na manutenção preditiva, examinando seus avanços tecnológicos, aplicações práticas e o impacto resultante na eficiência operacional e na redução de custos em diversos setores industriais.

O presente estudo empregou procedimentos metodológicos típicos de pesquisa bibliográfica. Considerada por Vergara (2000) a pesquisa é definida como “um estudo sistemático desenvolvido com base em material publicado em livros, periódicos, jornais, redes eletrônicas, ou seja, material acessível ao público”, sobre o qual foi realizada a revisão da literatura para fornecer a fundamentação teórica para a análise temática do estudo.

REFERENCIAL TEÓRICO

Inteligência artificial

A Inteligência Artificial (IA) pode ser definida como a capacidade de um dispositivo eletrônico simular ações humanas, com o objetivo de obter efeitos semelhantes aos produzidos pelo esforço humano. Para uma compreensão mais profunda deste assunto, é crucial apresentar terminologias relacionadas e suas nuances. Estes incluem a já citada Inteligência Artificial, bem como o *Machine Learning* (ML) e o *Deep Learning* (DL) (Vinhal, 2023).

A Inteligência Artificial (IA) tem sido utilizada no setor empresarial para automatizar operações repetitivas, aumentar a eficiência operacional e tomar decisões informadas e

precisas com base em dados. A Arquitetura da Informação (IA) desempenha um papel significativo na promoção da inovação, pois permite que as empresas descubram tendências e padrões ocultos nos seus dados que seriam desafiadores ou mesmo impossíveis de identificar manualmente. Isto pode levar à geração de novas ideias de negócios e ao desenvolvimento de produtos e serviços inovadores que atendam efetivamente às demandas dos clientes (Vinhal, 2023).

Além disso, a inteligência artificial (IA) pode ajudar as empresas a aumentar a produtividade, automatizando operações repetitivas e melhorando a eficiência operacional. As empresas podem poupar tempo e recursos valiosos que podem ser atribuídos a outras áreas do negócio como resultado disto. Outra forma pela qual a IA está a influenciar as empresas é através da competitividade. As empresas têm a capacidade de utilizar a Inteligência Artificial (IA) como uma ferramenta para embasar decisões mais embasadas e precisas a partir da análise de dados. A IA oferece a capacidade de processar grandes quantidades de informações de forma rápida e eficiente, auxiliando os gestores na identificação de padrões e tendências que podem direcionar suas estratégias e ações corporativas. Isto poderia levar a uma melhor gestão de recursos e a uma vantagem competitiva sobre as organizações que não utilizam IA. Além disso, a Inteligência Artificial (IA) pode ajudar as empresas a personalizar os seus produtos e serviços de acordo com as exigências dos clientes individuais, tornando-os mais apelativos e competitivos no mercado (Vinhal, 2023).

Conceito de manutenção

Para Oliveira (2019) a manutenção é definida como a combinação de várias operações destinadas a manter ou restaurar um item para um estado em que ele possa executar uma função necessária, o que significa que várias pessoas trabalham no equipamento para fazê-lo funcionar excepcionalmente bem longe de mau funcionamento ou falha.

As atividades de manutenção são projetadas para manter um grande número de equipamentos em um estado operacional. Essa diminuição das taxas de dispositivos se manifesta de várias maneiras, como aparência ruim ou até perda parcial ou total de funcionalidade (Oliveira, 2019).

O panorama da manutenção mudou significativamente ao longo do tempo, e a notoriedade dessas mudanças pode ser vista no número e variedade de instalações industrial. Com requisitos de conhecimento técnico cada vez maiores, há a necessidade de atualização contínua de profissionais na área de manutenção (Engeteles, 2018).

Segundo Oliveira (2019), a manutenção evoluiu ao logo do tempo em quatro gerações (1ª,2ª,3ª,4ª), cada uma das quais se destaca nos seguintes aspectos mencionados abaixo na figura 1.

Figura 1 - Evolução das técnicas de manutenção.

Fonte: Engeteles (2018)

Na figura 1 é apresentado a evolução das técnicas que manutenção ao longo do tempo, classificando em gerações.

A primeira geração de acordo com Oliveira (2019) é caracterizada pelo conceito de manutenção imediata após falha ou danos no equipamento, a indústria baixa grau de mecanização, equipamentos simples, aliado às condições econômicas do mundo da época, a produtividade não era o principal fator.

A segunda geração, devido à maior disponibilidade e maior vida útil dos equipamentos, a intervenção preventiva tornou-se uma medida rotineira nas plantas industriais devido ao alto tempo de operação e custos de manutenção dos equipamentos (Oliveira, 2019).

Para a terceira geração, a evolução fica evidente, pois a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos aumentaram significativamente, que se caracteriza por maior capacidade de produção e também possui melhores relacionamentos custo-benefício da manutenção e intervenção com base na análise das condições ambientais equipamento (Oliveira, 2019).

Por fim na quarta geração é reconhecida por engenharia de manutenção, que uni todas as atividades de manutenção e passam por uma verificação mais adequada e faz o procedimento especifico para cada problema (Kardec; Nascif, 2009).

Em relação aos tipos de manutenção nos equipamentos, pode-se elencar alguns considerados como os mais efetivos, como as preditivas rotineiras periódicas, as preventivas corretivas, assim como conservação e reparação dos maquinários.

Tipos de manutenção

Manutenção Corretiva

A manutenção corretiva é considerada a mais antiga. Ela se baseia apenas na correção de uma falha, ou se um equipamento tiver um desempenho menor do que o previsto, ou quando ocorrer uma emergência de manutenção. Ela é dividida em duas categorias: bem planejada e não planejada (Freitas, 2016).

A manutenção corretiva não planejada é aquela que é feita assim que o equipamento é parado, seja por quebra ou mau funcionamento urgente. Este tipo de manutenção é o mais caro disponível (Engeteles, 2018).

Quanto em relação a manutenção realizada conforme planejado e correção de desempenho que fica aquém das expectativas à medida que ocorre. Normalmente, o monitoramento regular é utilizado para verificar a condição do equipamento (Kardec; Nascif, 2009). Ela se diferencia do não planejado por ser uma decisão tomada diretamente pela administração. No entanto, é baseado em alterações de parâmetros que são detectadas por meio de manutenção preventiva. Então, é decidida qual o melhor momento para realizar esse tipo de atividade (Kardec; Nascif, 2009).

Ainda de acordo com Monteiro *et al.* (2010) a equipe de manutenção corretiva deve estar preparada para lidar com a produção imediatamente. Quando um incidente exige reparos imediatos, bem como para fins de registro estatístico, deve ser emitida alguma documentação para um formulário de solicitação. E um analista de manutenção responsável pelo plano de execução para correção do problema. Na Figura 3, mostra o gráfico da curva PF onde detalha o estado do equipamento.

Figura 2 - Curva PF de manutenção.

Fonte: Engeteles (2018)

Em outras palavras, a manutenção adequada deve corrigir um erro que já ocorreu. Existem dois tipos diferentes de falhas funcionais ou falhas potenciais: falhas potenciais, que indicam que algo está errado, mas o equipamento continua a funcionar como pretendido. Falha funcional é a incapacidade do equipamento para desempenhar sua função (Oliveira, 2019).

Manutenção preventiva

Para Kardec e Nascif (2009) é qualquer ação tomada para diminuir ou prevenir falhas, ou executar como pretendido, sempre seguindo um plano pré-determinado e baseado em intervalos de tempo, com o objetivo de prolongar a vida útil de máquinas e equipamentos.

A manutenção preventiva é realizada de acordo com um cronograma criado com o intuito de prevenir erros e antecipar a necessidade de serviços de manutenção. As inspeções também contribuem para a fase de manutenção preventiva no processo de manutenção (Kardec; Nascif, 2009).

Esse tipo de manutenção busca desenvolver técnicas sistemáticas e rígidas para prevenir a ocorrência de falhas e manter o controle contínuo sobre os equipamentos durante a realização de operações práticas (Teles, 2017).

Segundo Timotheo (2014) a manutenção preventiva é um método amplamente aceito e utilizado em quase todos os setores industriais, desde a revisão até a utilização de sistema técnico de ponta. Ela inclui cronogramas que retratam planos de revisão periódica totalmente executados para estágios de modelos de uso de escritório. Ainda nesse sentido ela possui três principais características, que são:

Figura 3 - Características da manutenção preventiva.

Fonte: Oliveira (2019)

A manutenção preventiva é realizada sistematicamente de acordo com o plano de manutenção já elaborado. Quando o dispositivo atingir a frequência definida, o dispositivo continuará recebendo atividades de manutenção. Essas frequências podem estar diretamente relacionadas ao tempo de uso, quilometragem ou produtividade. O software de manutenção preventiva é um componente essencial do departamento de manutenção e está diretamente relacionado ao bom gerenciamento, pois captura dados para melhorar a disponibilidade e confiabilidade dos ativos.

Manutenção preditiva

A manutenção preditiva também é conhecida como “manutenção sob condição”, “manutenção baseada na condição do equipamento” ou “manutenção baseada nas modificações dos parâmetros medidos diariamente nas fábricas” (Kardec; Nascif, 2009). Nesse sentido podemos citar a relação entre o custo benéfico, o tempo e o investimento que precisa ser realizado, vejamos:

Figura 4 - Manutenção Preditiva e as relações que a rodeiam.

Fonte: Oliveira (2019)

Assim, como já foi destacado por meio das explicações anteriores, o objetivo da manutenção preditiva é identificar com antecedência a necessidade de serviços de reparo de peças, eliminar desmontagens desnecessárias, aumentar a disponibilidade dos equipamentos e evitar mais danos. Com base nesses objetivos, podemos concluir que eles servem a um propósito importante, assim, mesmo que o investimento inicial seja maior, como está sendo mostrado na imagem a cima, o custo para manter é pouco e o tempo torna-se reduzido (Oliveira, 2019).

A manutenção preditiva é uma abordagem que utiliza dados e análises para prever quando uma máquina ou equipamento precisará de manutenção antes que ocorra uma falha. Esse método contrasta com abordagens tradicionais, como a manutenção corretiva (onde a manutenção é feita após a falha) e a manutenção preventiva (onde a manutenção é realizada em intervalos regulares, independentemente do estado do equipamento) (Souza, 2021).

Souza (2021), enfatiza alguns pontos sobre a manutenção preditiva como:

I. Avanços Tecnológicos:

Sensores Avançados: sensores cada vez mais sofisticados podem coletar uma variedade de dados em tempo real, como temperatura, vibração, pressão e corrente elétrica.

Internet das Coisas (IoT): a conectividade IoT permite que os dispositivos comuniquem dados para sistemas de análise em nuvem, facilitando a monitorização remota e em tempo real.

Análise de Big Data e Machine Learning: Algoritmos de aprendizado de máquina podem analisar grandes volumes de dados para identificar padrões e prever falhas com precisão.

II. Aplicações:

Indústria: na indústria, a manutenção preditiva é amplamente utilizada em equipamentos críticos, como motores, turbinas e equipamentos de produção, para evitar paradas não planejadas e maximizar a eficiência operacional.

Aviação: em aeronaves, a manutenção preditiva é crucial para garantir a segurança dos voos, monitorando continuamente os sistemas e componentes críticos.

Energia: na indústria de energia, como em usinas elétricas e instalações de energia renovável, a manutenção preditiva pode prevenir falhas catastróficas e otimizar a produção de energia.

III. Impactos:

Redução de custos: ao prever falhas antes que ocorram, as empresas podem evitar custos associados a paradas não planejadas, reparos de emergência e substituição de equipamentos.

Maior disponibilidade e confiabilidade: a manutenção preditiva permite que os equipamentos estejam disponíveis quando necessário, reduzindo o tempo de inatividade e aumentando a confiabilidade operacional.

Otimização de recursos: ao realizar manutenção apenas quando necessário, as empresas podem otimizar o uso de recursos, como mão de obra, peças de reposição e tempo de máquina parada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A manutenção é importante para a competitividade de uma empresa, pois as ações realizadas neste nível impactam diretamente em aspectos como custo e qualidade do produto. Portanto, os defeitos do equipamento devem ser detectados e eliminados. As ferramentas de inteligência artificial, especialmente a aprendizagem automática, apresentam um grande potencial para analisar a grande quantidade de dados que está atualmente disponível, permitindo melhorar a disponibilidade do sistema, os custos de manutenção, aumentar a eficiência operacional e ainda fornecer capacidades de apoio à decisão.

No entanto, a implementação bem-sucedida da manutenção preditiva requer investimentos significativos em tecnologia, infraestrutura e capacitação de pessoal. Além disso, questões relacionadas à privacidade e segurança dos dados também precisam ser consideradas, especialmente com a crescente quantidade de dados sensíveis coletados pelos sistemas de manutenção preditiva.

REFERÊNCIAS

GILCHRIST, A., **Industry** 4.0: The Industrial Internet of Things, 1st Edition, Apress, USA, 2016.

ENGETELES. 2018, **Plano de Manutenção Preventiva**: Como Elaborar. 2018. Disponível em:< https://engeteles.com.br/plano-de-manutencao-preventiva/> Acesso em 10 de abril de 24.

FREITAS, Fulgêncio Laís, **Elaboração de um plano de manutenção em uma pequena empresa do setor metal mecânico de juiz de fora, com base nos conceitos de manutenção preventiva e preditiva,** juiz de fora,2016.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª edição. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009. 384 p.

M. PAOLANTI, L. ROMEO, A. FELICETTI, A. MANCINI, E. FRONTONI, J. LONCARSKI, **Machine learning approach for predictive maintenance in industry 4.0,** in: 2018 14th IEEE/ASME International Conference on Mechatronic and Embedded Systems and Applications (MESA), 2018, pp. 1– 6. doi:10.1109/MESA.2018.8449150.

MARTINS, D. L. **Sistema inteligente para auxilio no projeto e instalação de uma rede industrial de sensores sem fio**. Tese (Doutorado) — Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. 96f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e de Computação).

MONTEIRO, italiano caio; SOUZA, Ramalho Leandro; ROSSI, lobo Henrique Paulo. **Manutenção Corretiva: Manutenção e Lubrificação de Equipamentos**. Bauru, 2010.

MOURA, L. R.; KOHL, H. Maturity assessment in industry 4.0 – **a comparative analysis of brazilian and german companies.** Engineering Science Journal, v. 8, n. 5, 2020. Disponível em: <https://ijournalse.org/index.php/ESJ/article/view/385/pdf>.

OLIVEIRA, ANA PAULA ARÁUJO DE. **A evolução da manutenção industrial**. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade Pitágoras, São luís. 2019.

SOUZA, Matheus Pereira**. The importance of the development of maintanence management.** 2021. Número total de folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Pitágoras, Governador Valadares, 2021.

TELES, Jhonata**. Gestão de parada de Manutenção**. 1° edição. Brasília: Engeteles,2017.

TIMOTHEO, G**. Apostila manutenção industrial**. Juiz de fora, 2014.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 3.ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2000.

VINHAL, Gustavo Siqueira *et al.* **A Influência Da Inteligência Artificial No Setor De Negócios**. Trabalho para conclusão de curso. Escola Politécnica e de artes da Pontifícia Universidade Católica de Goiás como requisito básico para a conclusão do curso de Ciência da Computação.2023.

YSTGAARD, K. F. *et al.* **Review of the theory, principles, and design requirements ofhuman-centric internet of things** (iot). v. 14, n. 3, p. 2827, Feb 2023.

AGRADECIMENTOS

Ronaldo Martiniano

Agradeço a Deus pela oportunidade e capacidade de desenvolver este trabalho. À minha família, especialmente à minha esposa Adriana, filha Jessica e genro Renan, pelo apoio incondicional. Aos amigos, pelo incentivo constante. À Fatec Osasco, pelo suporte e ferramentas fornecidas. E a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para este trabalho, desde a concepção até a conclusão.

Lucas Henrique Andrade dos Santos

Começo primeiramente agradecendo a Deus, pela porta da faculdade que me foi aberta e pela oportunidade que me foi concedida, agradeço a Deus por ter me dado força, energia, ânimo, condições para chegar até o fim de mais uma etapa da minha vida e estar terminando o curso com êxito.

Agradeço a minha família por terem me incentivado e apoiado em todos os momentos, e por todos aqueles que contribuíram e participaram de alguma maneira na minha formação

Felipe da Silva Estevão

Agradeço primeiramente a Deus, por ter concedido a oportunidade de frequentar a Faculdade de Tecnologia de Osasco Prefeito Hirant Sanazar, agradecer minha esposa Monique Gabriela Vilar que esteve ao meu lado durante esta jornada me dando ânimo e apoio, e familiares e amigos que estiveram comigo.

Capítulo

12

Immersion in complex dynamical systems: a mathematical introduction to dynamical systems

Imersão em sistemas dinâmicos complexos: uma introdução matemática de sistemas dinâmicos

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos

PhD in Applied Mathematics from the Faculty of Sciences of the University of Porto – FCUP/U.Porto, Portugal. Post-Doctorate in Physics. Department of Physics, Technological Institute of Aeronautics

ABSTRACT

This work delves into the theory of dynamic systems, focusing on the analysis of entropy in both classical and topological contexts. Beginning with an exposition of fundamental concepts in dynamical systems theory, particular attention is given to topological dynamical systems (TDS). The discussion progresses to explore discrete topological entropy and its significance within dynamical systems, culminating in the introduction of topological entropy pressure as a nuanced form of this concept. The study then investigates various applications of topological entropy within dynamic systems, emphasizing its utility in understanding chaotic systems and its role in ergodic theory. A novel theory, termed Topological Ergodic Entropy Theory (TEET), is presented, offering a fresh perspective on the analysis of ergodic dynamical systems. Furthermore, the work introduces the Ergodic Theory of Turbulent Flow (ETTF), which probes the interplay between topological entropy and the ergodic properties of dynamic systems governed by the Navier-Stokes equations. Through these explorations, the findings contribute significantly to the comprehension of the intricate nature of dynamical systems and their diverse applications across mathematics and physics. By scrutinizing topological entropy and its implications in dynamical systems, this research offers novel insights into the chaotic and stochastic behaviors exhibited by these systems. Additionally, the introduction of pioneering theories like ETTF opens up new avenues for understanding and modeling turbulent phenomena, thereby enriching our understanding of complex dynamical processes.

Keywords: entropy; topological pressure; ergodicity; turbulence in fluids;

complex dynamic systems.

RESUMO

Este trabalho investiga a teoria dos sistemas dinâmicos, com foco na análise da entropia em contextos clássicos e topológicos. Começando com uma exposição de conceitos fundamentais da teoria de sistemas dinâmicos, é dada especial atenção aos sistemas Dinâmicos Topológicos (TDS). A discussão avança para explorar a entropia topológica discreta e seu significado em sistemas dinâmicos, culminando na introdução da pressão de entropia topológica como uma forma matizada deste conceito. O estudo investiga então diversas aplicações da entropia topológica em sistemas dinâmicos, enfatizando sua utilidade na compreensão de sistemas caóticos e seu papel na teoria ergódiga. Uma nova teoria, denominada Teoria Topológica da Entropia Ergódiga (TTEE), é apresentada, oferecendo uma nova perspectiva na análise de sistemas dinâmicos ergódigos. Além disso, o trabalho apresenta a Teoria Ergódiga do Fluxo Turbulento (TEFT), que investiga a interação entre a entropia topológica e as propriedades ergódigas de sistemas dinâmicos governados pelas equações de Navier-Stokes. Através destas explorações, as descobertas contribuem significativamente para a compreensão da natureza intrincada dos sistemas dinâmicos e suas diversas aplicações na matemática e na física. Ao examinar minuciosamente a entropia topológica e suas implicações em sistemas dinâmicos, esta pesquisa oferece novos insights sobre os comportamentos caóticos e estocásticos exibidos por esses sistemas. Além disso, a introdução de teorias pioneiras como a TEFT abre novos caminhos para a compreensão e modelação de fenómenos turbulentos, enriquecendo assim a nossa compreensão de processos dinâmicos complexos.

Palavras-chave: entropia; pressão topológica; ergodicidade; turbulência em fluidos; sistemas dinâmicos complexos.

INTRODUCTION

The word “entropy” was coined in 1865 by the German physicist and mathematician Rudolf Clausius, one of the pioneers of Thermodynamics. In the theory of systems in thermodynamic equilibrium, entropy quantifies the degree of “disorder” present in the system, representing a fundamental measure of its randomness and energy distribution. The origin of the word dates back to the Greek word ‘entropia’, which means “turning towards” (en: in; tropo: transformation), signifying ‘measure of the disorder of a system.

Sinai (2009) developed the concept of entropy for a system in Ergodic Theory (now referred to as ‘Kolmogorov-Sinai entropy’). The authors, Adler *et al.* (1965), as pioneers in the notion of topological entropy, devised a method to assess its ‘extent’ by assigning a numerical value to their novel concepts and theories.

In this research, we present the concept of entropy from both a theoretical measure and a topological aspect, along with their prerequisites. Unfortunately, it was not feasible to cover all topics due to their extent, but it was possible to introduce an important topic of interest in the present work, as mentioned in its title. The references used themselves are

mentioned. However, their epitomes are: Viana & Oliveira (2016); Walters (2000); Einsiedler (2011); Glasner (2003), Santos & Sales (2023), and Santos & Silva (2023).

Mathematically presenting the optimal form of results, despite the challenges posed by the topic and its respective demonstrations, provides the necessary framework for understanding the subject matter of interest.

DYNAMIC SYSTEMS

The theory of dynamical systems encompasses the study of qualitative properties of group operations in spaces endowed with specific structures. In this study, our primary focus lies on operations via homeomorphisms in compact metric spaces, which possess an additional structure of invariant Borel probability measure under the operation in question.

List of symbols and notations

In the expansive domain of communication, symbols and notations stand as formidable instruments, transcending linguistic boundaries and succinctly conveying intricate concepts. This compilation endeavors to illuminate a broad spectrum of notations and symbols, offering a gateway to deciphering embedded languages. May this section serve as a guiding beacon for the reader, steering them through the symbolic terrain of this discourse and enriching their understanding of the adopted formulations.

X	Compact metric space.
U,V	Open sets.
Δ_n	These are all possible transitions of length n in the dynamical system.
$\cup$	Union of sets.
$\vee$	Union or supreme of a set of sets.
$\#$	Cardinality.

Each section of the text meticulously explicates diverse notations along with their corresponding meanings, facilitating a thorough comprehension of the technical intricacies.

Topological Dynamic System – TDS

A Topological Dynamical System (TDS) is understood as a pair (X,T), where X is a compact metric space and $T : X \to X$ is a self-homeomorphism. In some theorems, we also emphasize the properties of T, such as being surjective. In the references, the main definition of a TDS is a pair (X,T), where X is a compact metric space and $T : X \to X$ is a continuous map. Additionally, in Furstenberg (1967), the author uses the term 'flow' for a TDS; and employs the term 'bilateral' for a TDS with a homeomorphism $T : X \to X$. However, in this work, a TDS was considered together with a self-homeomorphism.

Definition 2.1.1. *For an TDS* (X,T) *and open sets* $U, V \subseteq X$ *And still, with* $N(U,V) := \{ n \in \mathbb{N} \mid T^n U \cap V \neq \emptyset \}$*:*

- *An TDS* (X, T) *is transitive if for each open set* $U, V \subseteq X$: $N(U, V) \neq \emptyset$;

- *An TDS* (X, T) *is mixing weakly if, for each open set* $U_1, V_1, U_2, V_2 \subseteq X$, $N(U_1, V_1) \cap N(U_2, V_2) \neq \emptyset$;
- *An TDS* (X, T) *is mixed or mixed strongly if, for each open set* $U, V \subseteq X$, *there is* $n_0 \in \mathbb{N}$, *such that* $\{n_0 \in \mathbb{N} | n > n_0\} \subseteq N(U, V)$

Proposition 2.1.2. *An TDS* (X, T) *is transitive if and only if,* $\cup_{n\in\mathbb{N}} \Delta_n \subseteq X \times X$ *it is dense, where* $\Delta_n := \{(x, T^n x) : x \in X\}$

Proof. If (X, T) *is transitive, for each open neighborhood* $U \times V \subseteq X \times X$ *of,* $(x, y) \in X \times X$ *since* U *is a neighbor of x, and* V *is a neighbor of y, there is* $n \in \mathbb{N}$ *such that* $T^n U \cap V \neq \emptyset$. *Then,* $(U \times T^n U) \cap (U \times V) \neq \emptyset$ *Therefore,*

$$(U \times V) \cap \bigcup_{n\in\mathbb{N}} \Delta_n \neq \emptyset.$$

In other words, $\cup_{n\in\mathbb{N}} \Delta_n$ is a dense subset of $X \times X$. On the other hand, if $\cup_{n\in\mathbb{N}} \Delta_n$ is a set of X, for each open set $U, V \subseteq X$, *there is* $n\in\mathbb{N}$ *such that* $(U \times V) \cap \Delta_n \neq \emptyset$ *so that there is* $(z, T^n z) \in U \times V$ *Therefore,*

$$T^n z \in T^n U \cap V \neq \emptyset$$

TOPOLOGICAL ENTROPY

If we have a set X, we denote by C_X the set of all finite covers of X. If $\mathcal{U} \in C_X$, $\mathcal{N}(\mathcal{U})$, is denoted as the minimum cardinality of subcovers of $\mathcal{U}$: $\mathcal{N}(\mathcal{U}) := \min\{\#\mathcal{V} \in C_X, \mathcal{V} \subseteq \mathcal{U}\}$. Now consider a transformation $T : X \to X$. For a given integer number $M \leq N$ and $\mathcal{U} \in C_X$, then $\mathcal{U}_M^N := \bigvee_{n=M}^{N} T^{-n}(\mathcal{U})$.

Definition 3.1. (Discrete Entropy). *The discrete entropy of* $\mathcal{U}$ *with regards to* $T : X \to X$ *is defined by*

$$h_c(\mathcal{U}, T) := \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \log\left(\mathcal{N}(\mathcal{U}_0^{n-1})\right) \tag{1}$$

Example 3.1.1. *Let* X *be a set and* $P \in C_X$ *a partition of X, and considering the transformation* $X \to X$, *we have to* $\mathcal{N}(P) = \#P$ *and* $P_0^n = P$, *for each* $n \in \mathbb{Z}$. *So, for* ***(3.1.)****, it is valid to say that* $h_c(P, X \to X) := \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \log(\#P) = 0.$

Proposition 3.1.1. *The limit defined in* ***(3.1)*** *always exists.*

Proof. Let $a_m := \mathcal{N}(\mathcal{U}_0^{n-1})$ *be we will prove that* $a_{m+n} < a_m a_n$. *Initially, note that*

$$\mathcal{U}_0^{n-1} = \bigvee_{i=0}^{m+n-1} T^{-i}\mathcal{U}$$

$$= \left(\bigvee_{i=0}^{m-1} T^{-i}\mathcal{U}\right) \bigvee \left(\bigvee_{i=0}^{m+n-1} T^{-i}\mathcal{U}\right)$$

$$= \left(\bigvee_{i=0}^{m-1} T^{-i}\mathcal{U}\right) \bigvee T^{-m}\left(\bigvee_{i=0}^{n-1} T^{-i}\mathcal{U}\right)$$

$$= \mathcal{U}_0^{m-1} \bigvee T^{-m}\mathcal{U}_0^{n-1}.$$

So, if U_m is a cover of $\mathcal{U}_0^{m-1}$ and U_n is a cover of $\mathcal{U}_0^{n-1}$, both with minimum cardinality, it is valid that

$$U_m \bigvee T^{-m} U_n$$

is a cover of $\mathcal{U}_0^{m+n-1}$. So,

$$\#\left(U_m \bigvee T^{-m} U_n\right) = a_m a_n.$$

Therefore, we conclude that

$$a_{m+n} \leq a_m a_n.$$

TOPOLOGICAL ENTROPY PRESSURE

Pressure $P\ (T, \phi)$ is a weighted version of topological entropy $h_{top}\ (T)$, where the weights are determined with the continuous function $\phi: X \to \mathbb{R}$, where we call it the "potential function". In some cases, we will see that

$$P\ (T, \phi) = h_{top}\ (T),$$

where $0: X \to \mathbb{R}$ is a null function.

For all $n \geq 1$, we have

$$\begin{cases} \phi_n: X \to R \\ \phi_n(x) = \sum_{i=0}^{n-1} \phi \circ T^i(x). \end{cases}$$

Now, for all $\alpha \in C_X^0$, we have:

$$P_n(T, \phi, \alpha) := \inf\{\textstyle\sum_{U \in \gamma} \sup e^{\phi_n(x)} | \gamma \in C_X^0, \succcurlyeq \alpha_0^n\} \qquad (2)$$

Proposition 4.1.1. *It is valid that* $\log P_{n+m}(T, \phi, \alpha) \leq \log P_n(T, \phi, \alpha) + \log P_m(T, \phi, \alpha)$.

Proof. For simplicity, let P_n stands for $P_n\ (T, \phi, \alpha)$ and $\mathcal{U} \overset{cover}{\subseteq} \mathcal{V}$ denotes that $\mathcal{U}$ is a subcover de $\mathcal{V}$.

Since

$$\phi_{n+m} = \sum_{i=0}^{n+m-1} \phi \circ T^i = \phi_n + \sum_{i=n}^{m+n-1} \phi \circ T^i = \phi_n + \left(\sum_{i=0}^{m-1} \phi \circ T^i\right) \circ T^n$$

$$= \phi_n + \phi_m \circ T^n,$$

we have

$$P_{n+m} = \inf\left\{\sum_{U \in \gamma} \sup \exp\left(\phi_{n+m}(x) \,\middle|\, \gamma \overset{cover}{\subseteq} \alpha_0^{n+m}\right)\right\}$$

$$= \inf\left\{\sum_{U \in \gamma} \sup \exp\left(\phi_{n+m}(x) \circ T^n(x) \,\middle|\, \gamma \overset{cover}{\subseteq} \alpha_0^{n+m}\right)\right\}$$

$$= \inf\left\{\sum_{U\in\gamma} \sup \exp\left(\phi_n(x)\circ T^n(x)\right) \exp \phi_m(x)\circ T^n(x) \,\middle|\, \gamma \overset{cover}{\subseteq} \alpha_0^{n+m}\right\}$$

$$= \inf\left\{\sum_{U\in\gamma} \sup \exp\left(\phi_n(x)\right) \,\middle|\, \gamma \overset{cover}{\subseteq} \alpha_0^{n+m}\right\} \inf\left\{\sum_{U\in\gamma} \sup \exp\left(\phi_m(x)\right.\right.$$

$$\left.\left.\circ T^n(x)\right) \,\middle|\, \gamma \overset{cover}{\subseteq} \alpha_0^{n+m}\right\}$$

$$\leq \inf\left\{\sum_{U\in\gamma} \sup \exp\left(\phi_n(x)\right) \,\middle|\, \gamma \overset{cover}{\subseteq} \alpha_0^{n+m}\right\} \inf\left\{\sum_{U\in\gamma} \sup \exp\left(\phi_m(y)\right) \,\middle|\, \gamma \overset{cover}{\subseteq} \alpha_{-n}^{m}\right\}$$

$$\leq P_n P_m.$$

Now that the subadditivity of P_n is proved, we can define the pressure of a map and a potential with respect to a cover:

Definition 4.1.1. Pressure of a homeomorphism $T: X \to X$ and a potential $\phi: X \to \mathbb{R}$ with respect to a cover is defined as

$$P(T,\phi,\alpha) := \lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \log P_n(T,\phi,\alpha).$$

Definition 4.1.2. Pressure of a homeomorphism $T: X \to X$ and a potential $\phi: X \to \mathbb{R}$, is defined as:

$$P(T,\phi) := \lim_{diam\,\alpha\to 0} P(T,\phi)\,. \tag{3}$$

Note that, according to Remark (4.1.1), the pressure in (3) is well-defined. In the above definitions, if we replace ‘sup’ with ‘inf’, we fail to achieve the subadditivity property stated in Proposition (4.1.2). Therefore, we must use ‘lim sup’ or ‘lim inf’ instead of ‘lim’. However, we can obtain the same result in (3) by considering either ‘lim sup’ or ‘lim inf’.

EXPLORING APPLICATIONS OF TOPOLOGICAL ENTROPY IN DYNAMICAL SYSTEMS

In this section, we will comment on some of the applications involving topological entropy in dynamic systems, highlighting its fundamental role in understanding and analyzing complex behaviors. Topological entropy, a quantitative measure of the complexity of dynamical systems, is essential for characterizing properties such as transitivity, mixing, and sensitivity to initial conditions. Finally, we will analyze how these properties are fundamental in different areas of mathematics and physics, highlighting our interest in this work only in the phenomenon of turbulence based on the Navier-Stokes equations.

Chaotic Systems Analysis

Topological entropy is widely used in the analysis of chaotic dynamical systems. Chaotic systems are characterized by unpredictable behavior and sensitivity to initial conditions. Topological entropy provides a quantitative measure of this sensitivity, allowing us to understand the complexity of chaotic behavior and predict its development over time.

Furthermore, the presence of chaotic orbits is closely related to the presence of points of high topological entropy, which allows us to identify and characterize chaotic systems in a variety of contexts.

Ergodic Theory

In ergodic theory, topological entropy plays a fundamental role in characterizing the dynamics of dynamical systems and classifying their properties. For example, the transitivity and mixing of a dynamical system are characterized in terms of topological entropy, providing criteria for determining whether a system exhibits chaotic or regular behavior. Furthermore, topological entropy is used to demonstrate fundamental theorems in ergodic theory, such as the Birkhoff-Khinchin theorem, which establishes the almost certain convergence of temporal averages for ergodic dynamical systems.

In the next section, we present a new theory within ergodic theory, centered on the notion of topological entropy. This theory, called "Topological Ergodic Entropy Theory", will explore how topological entropy can be applied to analyze properties of ergodic dynamical systems. The mathematical proof I will present will be a generalization of a fundamental result in ergodic theory, the Birkhoff-Khinchin Theorem.

Theory of Topological Ergodic Entropy – TTEE

The initial proposal of this theory, called (TTEE), is to study the relationship between topological entropy and ergodic properties of dynamic systems. The idea is to be based on the observation that topological entropy can provide information about the complexity and behavior of ergodic dynamic systems.

Topological Ergodic Entropy

We define the topological ergodic entropy of an ergodic dynamical system (X, T, μ) this way:

$$h_\mu(T) = \lim_{\epsilon \to 0} h_\mu(\epsilon, T),$$

where $h_\mu(\epsilon, T)$ is the ϵ-covered ergodic entropy, defined as

$$h_\mu(\epsilon, T) = \lim_{n\to\infty} \sup \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} H_\mu(P_k),$$

where $H_\mu(P_k)$ is the Shannon entropy of the partition P in relation to the measure μ.

Demonstration of the Generalized Birkhoff-Khinchin Theorem

The Birkhoff-Khinchin Theorem is a fundamental result in ergodic theory that establishes the almost certain convergence of temporal averages for ergodic dynamical systems. Here, we will present a generalization of this theorem using topological ergodic entropy.

Theorem 5.1.3. *Let* (X, T, μ) *be an ergodic dynamic system. So, for every function* $f \in L^1(X, \mu)$, *we obtain*

$$\lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} f \circ T^k(x) = \int_X f \, d\mu \, .$$

Proof. Considering topological ergodic entropy $h_\mu(T)$*, We will divide the proof into two steps, without presenting the mathematical rigor in this work.*

- Step 1 (Demonstration for Constant Functions): For constant functions $f = c$ where c is a constant, the theorem is trivially true, since the time mean of a constant function is equal to its constant value.
- Step 2 (Demonstration for Integratable Functions): For integrable functions $f \in L^1(X, \mu)$, we will use Khinchin's inequality to approximate f by constant functions. By Lusin's approximation theorem, we can find a sequence of simple functions $\{f_n\}$ that converge to f at almost all points. Then, applying Khinchin's inequality to each f_n, we obtain:

$$\lim_{n\to\infty} \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} f \circ T^k(x) = \int_X f \, d\mu \, .$$

Therefore, by Lebesgue's dominated convergence theorem, we have that the sequence of temporal averages converges to $\int_X f$ at almost all points. Thus, we demonstrate the generalized Birkhoff-Khinchin Theorem using topological ergodic entropy.

In the following section, a second theory is presented, based on ergodic theory, and turbulent flow governed by the Navier-Stokes equations. We will call this theory "*Ergodic Turbulent Flow Theory - (TEET)*". This theory aims to understand and mathematically explain the stochastic and chaotic nature of turbulent flow patterns and their relationship to the ergodic properties of the underlying dynamical systems.

Ergodic Theory of Turbulent Flow - ETTF

The Ergodic Theory of Turbulent Flow (*ETTF*), based on the work of Viana & Oliveira (2016), Furstenberg (1967) and Adler *et al.* (1965), presents some applications in physics and engineering, especially in modeling and predicting complex turbulent flows existing in nature. Some potential applications include:

- Turbulence Modeling and Simulation*:* The ETTF can be used to develop stochastic models and simulation techniques to reproduce and predict the behavior of turbulent systems in a wide range of applications, including aerodynamics, hydrodynamics and process engineering;
- Experimental Data Analysis: Ergodic analysis of experimental turbulent flow data can provide valuable insights into the nature of observed flow patterns and their relationship to underlying statistical properties;
- Turbulence Control: Understanding the ergodic properties of turbulent flows can help in developing more effective turbulence control strategies, with applications in aircraft aerodynamics, industrial process optimization and drag reduction in vehicles;
- System Performance Prediction: The ETTF can be used to predict the performance of systems subject to turbulent flows, such as the efficiency of

heat exchangers, the stability of structures exposed to wind and the dispersion capacity of atmospheric pollutants.

Through ETTF, researchers can gain a deeper understanding of turbulent phenomena and develop more sophisticated tools to address the practical challenges associated with turbulence in a variety of physics and engineering applications. Thus, to establish the Ergodic Theory of Turbulent Flow (ETTF), we need to begin by defining the ergodic concepts relevant to the turbulent dynamical system governed by the Navier-Stokes equations. Initially, the mathematical foundation is presented and then the fundamental ergodic properties associated with turbulent flow are demonstrated.

Ergodic Properties in Turbulent Flow

We define ergodic properties in turbulent flow as the average statistical characteristics that remain invariant over time for a turbulent dynamical system. These properties may include temporal averages, ensemble averages, and stationary probability distributions.

Thus, for a dynamic system represented by the Navier-Stokes equations for turbulent flow, the ergodic properties can be expressed as:

- Temporal Averages: The temporal averages of physical quantities, such as velocity, pressure and vorticity, remain constant on average over time;
- Ensemble Averages: Ensemble averages, obtained through multiple realizations of the system under the same initial conditions, converge to statistically consistent values;
- Stationary Probability Distributions: The probability distributions of the system state variables reach a statistically significant steady state.

Mathematical Foundation

We consider a dynamic system represented by the Navier-Stokes equations for turbulent flow in a three-dimensional domain $\Omega \subset \mathbb{R}^3$. The Navier-Stokes equations can be written in dimensionless form as:

$$\frac{\partial \boldsymbol{u}}{\partial t} + (\boldsymbol{u} \cdot \nabla)\boldsymbol{u} = -\nabla \mathrm{p} + \frac{1}{Re}\nabla^2 \boldsymbol{u} + \boldsymbol{f}\,, \tag{4}$$

where $\mathrm{u}(\mathrm{x}, \mathrm{t})$ is the velocity field, $\mathrm{p}(\mathrm{x}, \mathrm{t})$ is the pressure, Re is the Reynolds number, f is an external force, and $\mathrm{x} \in \Omega, \mathrm{t} \geq 0$

Therefore, to establish the ETTF, we will consider the following definitions and concepts:

- Phase Space: The phase space (Γ) of the system is the set of all possible configurations of the velocity field $\mathrm{u}(\mathrm{x}, \mathrm{t})$ and the pressure $\mathrm{p}(\mathrm{x}, \mathrm{t})$;
- Ergodicity: A system is ergodic if, over time, the temporal averages converge to the ensemble averages, that is, if statistical properties observed over time coincide with the ensemble properties;
- Ensemble Invariance: A system is said to have ensemble invariance if its

average statistical properties remain invariant under ensemble transformations, such as temporal averages, integration over control volumes, or averages over trajectories in phase space (Γ).

Demonstration of Ergodic Properties

We will demonstrate ensemble invariance and ergodicity for the turbulent dynamical system governed by the Navier-Stokes equations.

Ensemble Invariance

To demonstrate ensemble invariance, consider a physical quantity $\mathcal{A}(\boldsymbol{x},t)$ representative of the system's properties, such as kinetic energy, vorticity or dissipation rate. We can define the ensemble mean as:

$$\langle \mathcal{A} \rangle = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T \int_\Omega \mathcal{A}(\boldsymbol{x},t)\ d\boldsymbol{x}\, dt, \tag{5}$$

and the temporal average as:

$$\bar{\mathcal{A}} = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T \mathcal{A}(\boldsymbol{x},t)\, d\boldsymbol{x}\ dt. \tag{6}$$

Ensemble invariance is then demonstrated by showing that $\langle \mathcal{A} \rangle = \bar{\mathcal{A}}$ for any physical quantity $\mathcal{A}$ relevant.

Ergodicity

To demonstrate ergodicity, we show that the time average of any relevant physical quantity $\mathcal{A}(\boldsymbol{x},t)$ converges to its ensemble mean as time tends to infinity. I.e, $\lim_{T\to\infty} \bar{\mathcal{A}} = \langle \mathcal{A} \rangle$ for any physical quantity relevant.

The demonstration of these properties involves statistical analysis and functional integration techniques, combined with physical arguments that guarantee the stability and invariance of the system's average properties over time.

These demonstrations establish the mathematical basis for the Ergodic Theory of Turbulent Flow (ETTF), providing a solid theoretical framework for understanding and predicting the statistical properties of turbulent flows governed by the Navier-Stokes equations.

To demonstrate the fundamental ergodic properties associated with turbulent flow governed by the Navier-Stokes equations, we need to perform statistical analyzes and integrate relevant physical principles. Let's perform demonstrations for ensemble invariance and ergodicity.

Demonstration of Ensemble Invariance

To demonstrate ensemble invariance, let us consider a physical quantity $\mathcal{A}(\boldsymbol{x},t)$ representative of the system's properties, such as kinetic energy, vorticity, or dissipation rate. The ensemble mean $\langle \mathcal{A} \rangle$is given by:

$$\langle \mathcal{A} \rangle = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \int_\Omega \mathcal{A}(\boldsymbol{x}, t) \; d\boldsymbol{x} \, dt \; ,$$

and the temporal average $\bar{\mathcal{A}}$ is given by:

$$\bar{\mathcal{A}} = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \mathcal{A}(\boldsymbol{x}, t) \, d\boldsymbol{x} \, dt.$$

Ensemble invariance is then demonstrated by showing that $\langle \mathcal{A} \rangle = \bar{\mathcal{A}}$ for any physical quantity $\mathcal{A}$ relevant.

Proof. Let $\mathcal{A}(\boldsymbol{x}, t)$ be a representative physical quantity, and let us consider its ensemble mean $\langle \mathcal{A} \rangle$:

$$\langle \mathcal{A} \rangle = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \int_\Omega \mathcal{A}(\boldsymbol{x}, t) \; d\boldsymbol{x} \, dt.$$

Using the properties of integrals, we can write:

$$\langle \mathcal{A} \rangle = \lim_{T \to \infty} \int_\Omega \left(\frac{1}{T} \int_0^T \mathcal{A}(\boldsymbol{x}, t) \, dt \right) d\boldsymbol{x}.$$

Defining $\bar{\mathcal{A}}$ as the temporal average of $\mathcal{A}$

$$\bar{\mathcal{A}} = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_0^T \mathcal{A}(\boldsymbol{x}, t) \; dt,$$

we can rewrite the ensemble mean as:

$$\langle \mathcal{A} \rangle = \int_\Omega \bar{\mathcal{A}} \; d\boldsymbol{x}.$$

As $\bar{\mathcal{A}}$ is independent of position x, we can take it out of the integral, resulting in

$$\langle \mathcal{A} \rangle = \bar{\mathcal{A}} \int_\Omega d\boldsymbol{x} = \bar{\mathcal{A}} \cdot V$$

where V is the volume of the domain Ω. Therefore, $\langle \mathcal{A} \rangle = \bar{\mathcal{A}}$ demonstrating ensemble invariance.

These demonstrations establish the mathematical basis for the Ergodic Theory of Turbulent Flow (ETTF), providing a promising theoretical framework for understanding and predicting the statistical properties of turbulent flows governed by the Navier-Stokes equations.

FINAL CONSIDERATIONS

In this study, we explore dynamical systems theory, focusing on the analysis of entropy and its applications in complex dynamical systems. The introduction of concepts such as discrete topological entropy and topological entropy pressure enriches our understanding of the complexity of dynamical systems and provides powerful tools for the analysis of chaotic and ergodic systems. Furthermore, the presentation of new theories, such as the Topological Ergodic Entropy Theory (TTEE) and the Ergodic Turbulent Flow Theory (ETTF), open new directions for research into dynamic systems and their application in various areas of physics and engineering. The results presented in this work have the potential to significantly impact our understanding and ability to predict the behavior of complex dynamical systems, from modeling chaotic phenomena to analyzing turbulent flow patterns. It is hoped that these contributions will inspire future research and drive the development of new theories and techniques to address complex challenges in dynamical systems.

REFERENCES

Adler, R. L., Konheim, A. G., & McAndrew, M. H. (1965). Topological entropy. Transactions of the American Mathematical Society, 114(2), 309-319. https://community.ams.org/journals/tran/1965-114-02/S0002-9947-1965-0175106-9/S0002-9947-1965-0175106-9.pdf

Einsiedler, M. (2011). Ergodic theory. Springer. lib.ysu.am/open_books/413319.pdf

Furstenberg, H. (1967). Disjointness in ergodic theory, minimal sets, and a problem in Diophantine approximation. Mathematical systems theory, 1(1), 1-49. https://mathweb.ucsd.edu/~asalehig/F_Disjointness.pdf

Glasner, E. (2003). Ergodic theory via joinings (No. 101). American Mathematical Soc.

Santos, R. D. C. dos, & Sales, J. H. de O. (2023). Treatment for regularity of the Navier-Stokes equations based on Banach and Sobolev functional spaces coupled to anisotropic viscosity for analysis of vorticity transport. The Journal of Engineering and Exact Sciences, 9(8), 16656–01e. https://doi.org/10.18540/jcecvl9iss8pp16656-01e

Santos, R.D.C. dos, & Sales, J.H.O. (2023). Turbulent Flow Analysis with Banach and Sobolev Spaces in the LES Method Incorporating the Smagorinsky Subgrid-Scale Model. The Journal of Engineering and Exact Sciences, 9(10), 16534–01e. https://doi.org/10.18540/jcecvl9iss10pp16534-01e

Santos, R.D.C.; Silva, A.R. A Mathematical analysis of incompressible turbulent flow: Exploring Smagorinsky sub-grid model with asymptotic behavior. Journal of Engineering Research, v. 3, p. 1-13, 2023. 10.22533/at.ed.3173352319109

Sinai, Y. (2009). Kolmogorov-Sinai entropy. Scholarpedia, 4(3), 2034. http://scholarpedia.org/article/Kolmogorov-Sinai_entropies

Viana, M., & Oliveira, K. (2016). Foundations of ergodic theory (No. 151). Cambridge University Press. https://www.usb.ac.ir/FileStaff/1227_2019-9-30-7-55-41.pdf

Walters, P. (2000). An introduction to ergodic theory (Vol. 79). Springer Science & Business Media.

Acknowledgements

Sales thanks the support from CNPq.

Capítulo

13

Analyzing Ossean flow in unbounded regions via Sobolev spaces: a focused functional investigation

Analisando o escoamento de Ossen em regiões ilimitadas por meio dos espaços de Sobolev: uma investigação funcional

Rômulo Damasclin Chaves dos Santos

ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9482-1998. Department of Physics, Technological Institute of Aeronautics, São Paulo, Brazil.

ABSTRACT

This study serves as an introductory exploration of Oseen flow, a mathematical and physical framework for modeling fluid dynamics, with a specific focus on viscous substances such as liquids or gases. The presented theorem and its associated lemmas extend the foundational theory of potential flow, traditionally applied to inviscid fluids. The primary objective in investigating Oseen flow within external domains is to elucidate the influence of viscous effects on flow patterns beyond solid structures. Consequently, we establish the existence of generalized solutions when Ω represents a three-dimensional (3D) domain in the Stokes problem.

Keywords: Oseen flow; 3d domain; external domain; inviscid fluid.

RESUMO

Este estudo serve como uma exploração introdutória do fluxo de Oseen, um arcabouço matemático e físico para modelar a dinâmica dos fluidos, com um foco específico em substâncias viscosas como líquidos ou gases. O teorema apresentado e seus lemas associados estendem a teoria fundamental do fluxo potencial, tradicionalmente aplicada a fluidos invíscidos. O principal objetivo ao investigar o fluxo de Oseen dentro de domínios externos é elucidar a influência dos efeitos viscosos nos padrões de fluxo além de estruturas sólidas. Consequentemente, estabelecemos a existência de soluções generalizadas quando Ω representa um domínio tridimen-

AYA Editora©

sional (3D) no problema de Stokes.

Palavras-chave: escoamento de Oseen; domínio 3d; domínio externo; fluido invíscido.

INTRODUCTION

The Oseen approximation is developed to elucidate the dynamics of fluids around rigid bodies, labeled in this work as $\mathcal{B}$, experiencing constant and 'small enough' purely translational motion within a fluid, where its dynamics are described by the governing Navier equations. Stokes. However, assuming this type of movement, around $\mathcal{B}$, this may in turn impose limitations in several practical physical scenarios. These limitations can be observed on macroscopic and microscopic scales, where in $\mathcal{B}$ not only translational but also rotational movement is allowed. Other examples of these situations may include the alignment of rigid bodies (bodies in tandem) in the flow of a viscous fluid and the autonomous movement of microorganisms in a viscous medium (which will not be considered in this work); the work of Galdi (2002) offers a comprehensive exploration of these and related topics. Furthermore, as Sobolev's functional space will be mentioned, for the study in question, we refer the reader to the works of Santos & Sales (2023) and Santos & Silva (2023).

In this context, to adequately describe situations in which body $\mathcal{B}$ moves through a generic, but "small" and rigid motion, a more general approximation is necessary, which we introduce via Eq. (1), which we will call the generalized Oseen approximation. For the reader's better understanding, we reproduce the relevant equations here:

$$\begin{cases} v\Delta \boldsymbol{v} + \boldsymbol{v}_0 \cdot \nabla \boldsymbol{v} + \omega \times \boldsymbol{x} \cdot \nabla \boldsymbol{v} - \omega \times \boldsymbol{v} = \nabla p + \mathbf{f} & in \quad \Omega, \\ \nabla \cdot \boldsymbol{v} = 0 & in \quad \Omega, \\ \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_* & at \quad \partial\Omega, \end{cases} \tag{1}$$

together with the condition at infinity

$$\lim_{|x| \to \infty} \boldsymbol{v}(x) = 0. \tag{2}$$

We remind that in Eq. (1), $\boldsymbol{v}_0$ and ω are provided as constant vectors, symbolizing the translational and angular velocity, correspondingly, in the rigid motion of $\mathcal{B}$. We will presume that Ω is an exterior domain of $\mathbb{R}^3$, and furthermore, we emphasize the importance of reviewing pertinent observations and bibliographies related to the two-dimensional case that will be discussed in this work.

To articulate problems and outcomes more effectively, it is advantageous to rephrase Eq. (1) and Eq. (2) in a suitable dimensionless form. To this end, we assume, without loss, that ω is directed along the positive x_1- axis, that is, $\omega = \omega e_1$, while $\boldsymbol{v}_0 = \boldsymbol{v}_0 e$, $\boldsymbol{v}_0 \geq 0$ (Of course, we suppose $\omega \neq 0$). Furthermore, we normalize the length by $d = \delta\,(\Omega^c)$, and the velocity with $\boldsymbol{v}_0$, if $\boldsymbol{v}_0 \neq 0$, and ωd otherwise. Therefore, introducing the dimensionless numbers

$$\mathcal{R}' = \frac{v_0 d}{\nu} \; (Reynolds\ number)$$

$$\mathcal{T} = \frac{\omega d^2}{\nu} \ (Taylor\ number) \tag{3}$$

the system Eq. (1) assumes the following form

$$\begin{cases} \Delta \boldsymbol{v} + \mathcal{R}' e \cdot \nabla \boldsymbol{v} + \mathcal{T}(e_1 \times \boldsymbol{x} \cdot \nabla \boldsymbol{v} - e_1 \times \boldsymbol{v}) = \nabla p + \mathbf{f} & in \quad \Omega, \\ \nabla \cdot \boldsymbol{v} = 0 & in \quad \Omega, \\ \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_* & at \quad \partial\Omega, \end{cases} \tag{4}$$

where now $\boldsymbol{v}$, $\boldsymbol{v}_*, p,$, and f are nondimensional quantities. If $\Omega \equiv \mathbb{R}^3$ the above choice of d is no longer possible, but we can still give a meaning to Eq. (4), which is what we shall do hereinafter.

At this point we observe that, in general, ω and $\boldsymbol{v}_0$, that is, e_1 and e , have different directions. However, by shifting the coordinate system by a constant quantity, we can always reduce the original equations to new ones where $e = e_1$. This change of coordinates, known as Mozzi–Chasles transformation (see more in Caparrini (2003) and Ceccarelli (2007), reads as follows:

$$\boldsymbol{x}^* = \boldsymbol{x} - \lambda e_1 \times e, \lambda := \frac{\mathcal{R}'}{T} \equiv \frac{v_0}{\omega d} \ . \tag{5}$$

Thus, defining

$$\begin{gathered} \Omega^* = \{\boldsymbol{x}^* \in \mathbb{R}^3 : \boldsymbol{x}^* = \boldsymbol{x} - \lambda e_1 \times e, for\ some\ \boldsymbol{x} \in \Omega\}, \\ \boldsymbol{v}^*(\boldsymbol{x}^*) = \boldsymbol{v}(\boldsymbol{x}^* + \lambda e_1 \times e),\ p^*(x^*) = p(\boldsymbol{x}^* + \lambda e_1 \times e), \\ \boldsymbol{f}^*(\boldsymbol{x}^*) = \boldsymbol{f}(\boldsymbol{x}^* + \lambda e_1 \times e), \\ \mathcal{R} = \mathcal{R}' e \cdot e_1, \end{gathered} \tag{6}$$

the Eq. (4) becomes (with stars omitted)

$$\begin{cases} \Delta \boldsymbol{v} + \mathcal{R} \frac{\partial v}{\partial x_1} + \mathcal{T}(e_1 \times \boldsymbol{x} \cdot \nabla \boldsymbol{v} - e_1 \times \boldsymbol{v}) = \nabla p + \mathbf{f} & in \quad \Omega, \\ \nabla \cdot \boldsymbol{v} = 0 & in \quad \Omega, \\ \boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_* & at \quad \partial\Omega, \end{cases} \tag{7}$$

Throughout this section, we will therefore focus on solving equations Eqs. (7) and (2). We wish to highlight the important feature occurring in Equation (7), as follows. Building upon the prior analysis, we can infer that the wake characteristics of the velocity field $\boldsymbol{v}$ at considerable distances are attributed to the term $\mathcal{R}\frac{\partial v}{\partial x_1}$. Currently, this expression equals zero whenever the "effective" Reynolds number $\mathcal{R}$ becomes negligible. Considering the Mozzi-Chasles transformation, this occurs not only as intuitively anticipated, that is, with $\boldsymbol{v} = 0$, but, more generally, when$v_0 \cdot \omega = 0$, namely, when the translational velocity of the body is perpendicular to its angular velocity. In fact, as we shall prove later on, the formation of a "wake" is possible, in a suitable sense, if and only if, $v_0 \cdot \omega \neq 0$.

The study of the mathematical properties of the solutions of Eq. (7), (2) is, in principle, much more challenging than the analogous study carried out for the Oseen problem Eq.

(1), (2), the main reason being the presence, in Eq. (7), of the term $e_1 \times \boldsymbol{x} \cdot \nabla \boldsymbol{v}$, whose coefficient becomes unbounded as $|x| \to \infty$. An important consequence of this fact is that Eq. (7) can in no way be seen as a perturbation of Eq. (1), even for "small" T (i.e., "small" angular velocities). Despite this challenge, it is feasible to demonstrate, quite readily, the existence of at least one comprehensive solution to Eqs. (7) and (2) while also establishing that this solution remains smooth given equally smooth input data. Similar to the Oseen approximation scenario, the generalized solution is formulated employing the Galerkin method, utilizing a suitable basis and a pertinent a priori estimate of the Dirichlet norm of $\boldsymbol{v}$. This estimation can be established due to the fact that (as the reader will promptly observe)

$$\int_{\Omega} (e_1 \times \boldsymbol{x} \cdot \nabla \varphi \cdot \varphi - e_1 \times \varphi \cdot \varphi) = 0, \forall\, \varphi \in \mathcal{D}(\Omega). \tag{8}$$

Considering applications to the nonlinear problem, similar to the Oseen approximation, the subsequent study in this particular case revolves around examining the behavior of generalized solutions at significant distances. This question arises naturally when investigating the uniqueness of generalized solutions, a distinct concept is presented in Theorem 1 and two important Lemmas for Oseen approximations, respectively.

Theorem 1. Let Ω be a locally Lipschitz exterior domain of $\mathbb{R}^3$. Given $\boldsymbol{f} \in D_0^{-1,2}(\Omega)$ $\boldsymbol{v}_* \in W^{1/2,2}(\partial\Omega)$, there exists one and only one generalized solution to the Stokes problem, given by

$$\text{in } \Omega \begin{cases} \Delta v = \nabla p + f, \\ \nabla \cdot v = 0, \end{cases}$$
$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{v}_* \text{ at } \partial\Omega \tag{9}$$

where $\boldsymbol{f}$, $\boldsymbol{v}_*$ are prescribed fields and where, as usual, we have formally set the coefficient of kinematic viscosity to be one. Of course, since Ω is unbounded, we have to assign also the velocity at infinity, which we do as follows

$$\lim_{|x| \to \infty} \boldsymbol{v}(x) = 0$$

This solution satisfies for all $R > \delta$ (Ω^c) the following estimate

$$\|\boldsymbol{v}\|_{2,\Omega_R} + |\boldsymbol{v}|_{1,2} + \|p\|_2 \leq c\{|\boldsymbol{f}|_{-1,2} + \|\boldsymbol{v}_*\|_{1/2,2(\partial\Omega)}\}, \tag{10}$$

where p is the pressure field associated to $\boldsymbol{v}$ and $c = c\,(\Omega, R)$, $c \to \infty$ as $R \to \infty$.

Furthermore,

$$\int_{S^2} |\boldsymbol{v}(x)| = o\left(\frac{1}{\sqrt{|x|}}\right), |x| \to \infty. \tag{11}$$

Proof. The proof of existence and uniqueness goes exactly as in Theorem 1, provided we make a suitable extension of $\boldsymbol{v}_*$. In this respect, it is worth noticing that it is not required that the flux of $\boldsymbol{v}_*$ on $\partial\Omega$ be zero. Set

$$\Phi = \int_{\partial\Omega} \boldsymbol{v}_* \cdot \boldsymbol{n}, \qquad \boldsymbol{\sigma}(x) = -\Phi \nabla \mathcal{E}(x), \tag{12}$$

where $\mathcal{E}$ is the fundamental solution to the Laplace equation and with the origin of coordinates taken in Ω^c. Recall that n is the unit outer normal to $\partial\Omega$. Clearly,

$$\Delta\boldsymbol{\sigma} = 0 \; in \; \Omega,$$

$$\int_{\partial\Omega} \boldsymbol{\sigma} \cdot \boldsymbol{n} = \Phi.$$

Putting $\boldsymbol{w}_* = \boldsymbol{v}_* - \boldsymbol{\sigma}$, it follows that

$$\boldsymbol{\sigma} = \frac{\Phi}{4\pi} \nabla([x]^{-1}),$$

$$\int_{\partial\Omega} \boldsymbol{w}_* \cdot \boldsymbol{n} = 0,$$

and to construct a solenoidal field $\boldsymbol{V}_1 \in \boldsymbol{W}^{1,2}(\Omega)$, vanishing outside Ω_ρ, for some $\rho > \delta\,(\Omega^c)$, that equals $\boldsymbol{w}_*$ on $\partial\Omega$ and, moreover,

$$\|\boldsymbol{V}_1\|_{1,2,\Omega_\rho} \leq c_1 \|\boldsymbol{w}_*\|_{1/2,2(\partial\Omega)} \tag{13}$$

with $\mathrm{c} = \mathrm{c}\,(\Omega_\rho)$. On the other hand, we have, clearly,

$$\|\boldsymbol{w}_*\|_{1/2,2(\partial\Omega)} \leq c_2 \|\boldsymbol{v}_*\|_{1/2,2(\partial\Omega)}, \tag{14}$$

so that Eq. (14) implies

$$\|\boldsymbol{V}_1\|_{1,2,\Omega_\rho} \leq c_3 \|\boldsymbol{v}_*\|_{1/2,2(\partial\Omega)}, \tag{15}$$

with $c_3 = c_3\,(\Omega, \rho)$. A generalized solution to the exterior problem is then sought in the form

$$\boldsymbol{v} = \boldsymbol{w} + \boldsymbol{V}_1 + \boldsymbol{\sigma},$$

where $\boldsymbol{w} \in \mathcal{D}_0^{1,2}(\Omega)$ solves

$$(\nabla\boldsymbol{w}, \nabla\varphi) = -[\boldsymbol{f}, \varphi] - (\nabla\boldsymbol{V}, \nabla\varphi),$$

with

$$\boldsymbol{V} = \boldsymbol{V}_1 + \boldsymbol{\sigma}.$$

The existence, uniqueness, and estimate of Eq. (10) are proved along the same lines of *Lemma 1*, shown below.

Lemma 1. Let Ω be an arbitrary domain of $\mathbb{R}^n$, $\mathrm{n} \geq 2$, and let $\boldsymbol{f} \in \boldsymbol{W}_0^{-1,q}(\Omega'), 1 < q < \infty$, for any bounded domain Ω' with $\overline{\Omega'} \subset \Omega$. A vector field $\boldsymbol{v} \in \boldsymbol{W}_{loc}^{1,q}(\Omega)$ satisfies $(\nabla\boldsymbol{v}, \nabla\psi) = -\langle \boldsymbol{f}, \psi\rangle + (p, \nabla\cdot\psi)$ for all $\varphi \in \mathrm{D}\,(\Omega)$ if and only if there exists a pressure field $p \in L_{loc}^q(\Omega)$ such that $(\nabla\boldsymbol{v}, \nabla\psi) = -\langle \boldsymbol{f}, \psi\rangle + (p, \nabla\cdot\psi)$ holds for every $\psi \in C_0^\infty(\Omega)$. If, moreover, Ω is bounded and satisfies the cone condition and $\boldsymbol{f} \in D_0^{-1,q}(\Omega), \boldsymbol{v} \in D^{1,q}(\Omega)$ then $p \in L^q\,(\Omega)$.

Finally, if we normalize p by the condition

$$\int_\Omega p = 0, \tag{L.1}$$

the following estimate holds:

$$\|p\|_q \leq c\left(\|\boldsymbol{f}\|_{-1,q} + |\boldsymbol{v}|_{1,q}\right). \tag{L.2}$$

Proof. Let us consider the functional

$$\mathrm{F}\,(\psi) \equiv (\nabla \mathrm{v}, \nabla\psi) + \langle \mathrm{f}, \psi\rangle$$

for $\psi \in D_0^{1,q'}(\Omega')$. By assumption, $\mathcal{F}$ is bounded in $D_0^{1,q'}(\Omega')$ and is identically zero in $\mathcal{D}(\Omega)$ and, therefore, by continuity, in $\mathcal{D}_0^{1,q'}(\Omega')$. If Ω is arbitrary (in particular, has no regularity), we deduce the existence of $p \in L^q(\Omega)$ for all $\psi \in C_0^\infty(\Omega)$. If Ω is bounded and satisfies the cone condition, by assumption exists a uniquely determined $p' \in L^q(\Omega)$) with

$$\int_\Omega p' = 0,$$

such that

$$\mathcal{F}(\psi) = (p', \nabla\cdot\psi), \tag{L.3}$$

for all $\psi \in D_0^{1,q'}(\Omega)$. As $(\nabla\boldsymbol{v}, \nabla\psi) = -\langle \boldsymbol{f}, \psi\rangle + (p, \nabla\cdot\psi)$ and $\mathcal{F}(\psi) = (p', \nabla\cdot\psi)$, we find, in particular,

$$(p - p', \nabla\cdot\psi) = 0, \forall\, \psi \in C_0^\infty(\Omega),$$

Implying $p = p' + constant.$, and so, if we normalize p by (L.1), we may take $p = p'$. Considering the problem

$$\begin{gathered} \nabla\cdot\psi = |p|^{q-2}p - |\Omega|^- \int_\Omega |p|^{q-2}p \equiv g \\ \psi \in W_0^{1,q'}(\Omega') \\ \|\psi\|_{1,q'} \leq c_1 \|p\|_q^{q-1}, \end{gathered} \tag{L.4}$$

with Ω bounded and satisfying the cone condition. Since

$$\int_\Omega g = 0, \qquad g \in L^{q'}(\Omega), \qquad \|g\|_{q'} \leq c_2 \|p\|_q^{q-1},$$

we deduce the existence of ψ solving (L.4). If we replace such a ψ into (L.3) and use (L.1) together with the Hölder inequality, we obtain (L.2). The proof is therefore completed. □

And now, provided we use *Lemma* 1, and note that, since $\Delta\sigma = 0$ in Ω, we have:

$$\int_\Omega \nabla\boldsymbol{\sigma} : \nabla\varphi = 0,$$

for any $\varphi \in \mathcal{D}_0^{1,2}(\Omega)$. To show estimate Eq. (11) we notice that for $|\mathrm{x}|$ sufficiently large

$$\int_{S^2} |\boldsymbol{v}(x)| \leq c_4 \int_{S^2} (|\boldsymbol{w}(x)| + |\Phi||\nabla\mathcal{E}(x)|) = c_4 \int_{S^2} |\boldsymbol{w}(x)| + \mathcal{O}\left(\frac{1}{|x|^2}\right),$$

and, since $\boldsymbol{w} \in \mathcal{D}_0^{1,2}(\Omega)$, it follows

$$\int_{S^2} |\boldsymbol{w}(x)| = o\left(\frac{1}{\sqrt{|x|}}\right),$$

which furnishes the Eq. (11). The proof of the *Theorem 1* is then completed.

Lemma 2. Let Ω be an arbitrary domain of $\mathbb{R}^n$, $n \geq 2$, then, there exists a denumerable set of functions $\{\varphi_k\}$ whose linear hull is dense in $\mathcal{D}_0^{1,2}(\Omega)$ and has the following properties:

(i) $\varphi_k \in \mathcal{D}(\Omega), \forall k \in \mathbb{N}$;

(ii) $(\nabla\varphi_k, \nabla\varphi_j) = \delta_{kj}$ *or* $(\varphi_k, \varphi_j) = \delta_{kj}, \forall k, j \in \mathbb{N}$;

(iii) *Given* $\varphi \in \mathcal{D}(\Omega)$, *and* $k \in \mathbb{N}$, for any $\varepsilon > 0$ there exist $m = m(\varepsilon) \in \mathbb{N}$, and $\gamma_1, \dots, \gamma_m \in \mathbb{R}$, such that

$$\left\|\nabla\varphi - \sum_{i=1}^{m} \gamma_i \nabla\varphi_i\right\|_s + \left\|(|x|+1)^{k/s}\left(\varphi - \sum_{i=1}^{m} \gamma_i \nabla\varphi_i\right)\right\|_s < \varepsilon$$

for all $s \geq 2$, where $(|x|+1)^{k/s} = \rho$.

Proof. Let $H_{0,\rho}^{\ell}(\Omega)$, with $\ell > {}^{n}/_{2} + 1$, be completion of $\mathrm{D}(\Omega)$ in the norm

$\|\varphi\|_{\ell,2,\rho} \equiv \|\rho\varphi\|_2 + \|\varphi\|_{\ell,2}$.

Clearly, $H_{0,\rho}^{\ell}(\Omega)$ is a subspace of $\boldsymbol{W}^{\ell,2}(\Omega)$. Moreover, it is also isomorphic to a closed subspace of $[L^2(\Omega)]^N$, for suitable $N = N(\ell, n)$, via the map

$$\varphi \in H_{0,\rho}^{\ell}(\Omega) \to \left(\rho\varphi_1, \dots, \rho\varphi_n; (D^\alpha\varphi_1)_{1\leq|\alpha|\leq\ell}; \dots; (D^\alpha\varphi_n)_{1\leq|\alpha|\leq\ell}\right) \in [L^2(\Omega)]^N.$$

Thus, in particular, $H_{0,\rho}^{\ell}(\Omega)$ is separable, and so is its subset $\mathrm{D}(\Omega)$. As a consequence, there exists a basis in $H_{0,\rho}^{\ell}(\Omega)$ of functions from $\mathrm{D}(\Omega)$, which we will denote by $\{\psi_k\}$. Since $H_{0,\rho}^{\ell}(\Omega) \hookrightarrow \mathcal{D}_0^{1,2}(\Omega)$, the linear hull of $\{\psi_k\}$ must be dense in $\mathcal{D}_0^{1,2}(\Omega)$ as well. Take $\varphi \in \mathrm{D}(\Omega)$ and fix $\varepsilon > 0$; there exist $N = N(\varepsilon) \in \mathbb{N}$, and $\alpha_1, \dots, \alpha_N \in \mathbb{R}$ such that

$$\left\|\varphi - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i \psi_i\right\|_{\ell,2,\rho} < \varepsilon$$

it follows that

$$\left\|\varphi - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i \psi_i\right\|_{C^1} < c\varepsilon\,,$$

with $c = c(\Omega, n, l)$. We may orthonormalize $\{\psi_k\}$ in $\mathcal{D}_0^{1,2}(\Omega)$ by the Schmidt procedure, to obtain another denumerable set $\{\varphi_k\}$ whose linear hull is still dense in $\mathcal{D}_0^{1,2}(\Omega)$. Since every φ_r is a linear combination of $\psi_1,\dots,\psi_r$ and, conversely, every ψ_r is a linear combination of $\varphi_1,\dots,\varphi_r$, it is easy to check that the system $\{\varphi_k\}$ satisfies all the statements in the lemma which is thus completely proved. Digite a equação aqui.

FINAL CONSIDERATIONS

Therefore, we conclude, based on the presented theorem and its extended results as lemmas, that *(i)* the conditions under which a solution to a differential equation involving a vector field $\boldsymbol{v}$ and a pressure field p can be found in a domain Ω are established. This results in the imposition of restrictions on the involved functions and the domain, providing information about the existence and regularity of the solution; *(ii)* that in the density of a denumerable set of functions $\{\varphi_k\}$ in a Sobolev space $\mathcal{D}_0^{1,2}$ with null boundary condition. The orthogonal properties and density in the Sobolev space ensure that this set is an effective basis for representing functions in this space, allowing accurate approximations. In summary, while the first lemma addresses the existence and regularity of solutions to specific differential equations, the second lemma deals with the density of a set of functions in a Sobolev space, providing an effective basis for representing functions in that space. Both lemmas contribute to theoretical understanding and mathematical analysis in contexts associated with differential equations and functional spaces of type 3D.

REFERENCES

Caparrini, S. (2003). Early theories of vectors. In Essays on the History of Mechanics: in Memory of Clifford Ambrose Truesdell and Edoardo Benvenuto (pp. 179-198). Basel: Birkhäuser Basel.

Ceccarelli, M. (2007). Giulio Mozzi (1730–1813). In Distinguished Figures in Mechanism and Machine Science: Their Contributions and Legacies Part 1 (pp. 279-293). Dordrecht: Springer Netherlands.

Galdi, G. P. (2002). On the motion of a rigid body in a viscous liquid: a mathematical analysis with applications. Handbook of mathematical fluid dynamics, 1, 653-791.

Santos, R. D. C. dos, & Sales, J. H. de O. (2023). Treatment for regularity of the Navier-Stokes equations based on Banach and Sobolev functional spaces coupled to anisotropic viscosity for analysis of vorticity transport. The Journal of Engineering and Exact Sciences, 9(8), 16656–01e. https://doi.org/10.18540/jcecvl9iss8pp16656-01e

Santos, R.D.C. dos, & Sales, J.H.O. (2023). Turbulent Flow Analysis with Banach and Sobolev Spaces in the LES Method Incorporating the Smagorinsky Subgrid-Scale Model. The Journal of Engineering and Exact Sciences, 9(10), 16534–01e. https://doi.org/10.18540/jcecvl9iss10pp16534-01e

Santos, R.D.C.; Silva, A.R. A Mathematical analysis of incompressible turbulent flow: Exploring Smagorinsky sub-grid model with asymptotic behavior. Journal of Engineering Research, v. 3, p. 1-13, 2023. 10.22533/at.ed.3173352319109.

Capítulo

14

Desenvolvimento de um analisador de temperatura para ensaios laboratoriais

Development of a temperature analyzer for laboratory tests

Gustavo Avelar Cabral

Departamento de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Santa Catarina. (IFSC, Campus Itajaí)

Leonir José da Costa Júnior

Departamento de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Santa Catarina. (IFSC, Campus Itajaí)

Vinícius Hercilio Correa

Departamento de Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Santa Catarina. (IFSC, Campus Itajaí)

RESUMO

Este trabalho apresenta uma solução para ensaios laboratoriais de temperatura em eletrodomésticos. Seu desenvolvimento consiste no hardware, utilizado para coleta de dados e no software, que possibilita a apresentação de dados e controle do hardware. O hardware é alimentado por um módulo STEP-DOWN, possui 16 entradas para sensores termopares tipo K e utiliza um multiplexador para reduzir a quantidade de módulos MAX6675, responsáveis pela aferição das temperaturas. Todo o sistema é baseado na plataforma Arduino + ESP8266 possibilitando conexão cabeada e conexão wireless. Já o software é baseado na linguagem de programação Python e apresenta diversas janelas com opções de controle, gerenciamento e monitoramento de ensaios.

Palavras-chave: ensaios; temperatura; python. arduino.

ABSTRACT

This work presents a solution for laboratory tests of temperature in home appliances. Its development consists of hardware, used for data collection, and software, which enables data presentation and hardware control. The hardware is powered by a STEP-DOWN module, has 16 inputs for K-type thermocouple sensors and uses a multiplexer to reduce the number of MAX6675 modules, responsible for measuring temperatures. The whole system is based on the Arduino + ESP8266 platform allowing wired connection and wireless connection. The software is based on the Python

DOI: 10.47573/aya.5379.2.313.14

programming language and features several windows with control, management and test monitoring options.

Keywords: test; temperature; python; arduino.

INTRODUÇÃO

Os ensaios laboratoriais são pré-requisitos na fabricação de diversos produtos, o controle e monitoramento de temperatura são essenciais em diversas áreas de pesquisa acadêmica assim como em aplicações industriais (Silva e Freitas, 2018). estes ensaios possuem grande importância ao que diz respeito à conformidade de seus parâmetros com as especificações descritas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) em diversas normas técnicas. Um dos fatores determinantes no tempo de fabricação destes produtos são o tempo gasto com ensaios laboratoriais, a redução e otimização do tempo gasto com ensaios, permitem o aumento de produtos ensaiados impactando diretamente no aumento da produção destes produtos.

Durante a realização dos ensaios, dependendo da quantidade e complexidade do ensaio, são gerados diversos dados por segundo, tais dados tratados e analisados de forma eficiente permitem que gestores tenham diversas percepções (insights) acerca dos produtos ensaiados tais insights podem ser convertidos em soluções de problemas e melhorias destes produtos.

Visto a importância que o ensaios laboratoriais tem no setor fabril, a solução para ensaios laboratoriais em eletrodoméstico apresenta um protótipo capaz de realizar a coleta de dados de diversos sensores termopares Tipo K, análise do ensaio em tempo real através de um gráfico atualizado a cada 10 segundos, armazenamento dos ensaios realizados em arquivos PDF e gerenciamento dos ensaios através de uma planilha de controle.

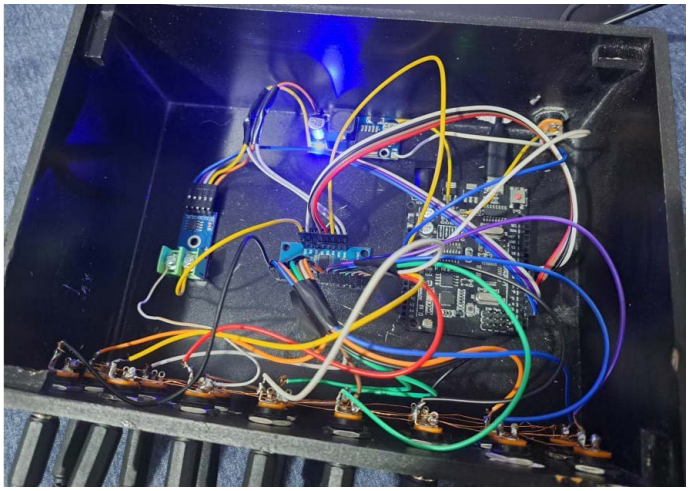
O protótipo denominado ThermoCouple, teve como foco a automação de ensaios realizados em fornos elétricos atendendo principalmente a norma ABNT NBR 60335-2-6 Requisitos particulares para fogões estacionários, fogões de mesa, fornos e aparelhos similares. Entretanto, o software pode ser modificado para atender qualquer norma relacionado a ensaios de temperaturas.

METODOLOGIA

Desenvolvimento do hardware

O ThermoCouple realiza o monitoramento da temperatura de diversos pontos simultaneamente, uma solução para tal seria um módulo MAX6675 dedicado para cada termopar, essa solução tem a vantagem de ter precisão de 0.25 graus, porém ela tem uma desvantagem do seu alto custo. Como solução, foi utilizado um circuito multiplexador analógico de 16 canais modelo CD74HC4067. Desta forma pôde-se selecionar um termopar de cada vez (Vieira e Carli, 2018).

Figura 1 - Hardware pronto.



Fonte: Autoria própria (2022)

Para a alimentação dos módulos MAX6675 e CD74HC4067 foi utilizado um step-down que reduz a tensão de 9V da fonte de energia para os 5V que o fabricante dos módulos orienta a utilizar. Dando continuidade no circuito da leitura das temperaturas, a saída digital do MAX6675 está ligada a uma porta digital do Arduino que faz a coleta de todas as temperaturas.

Desenvolvimento do código na linguagem C/C++

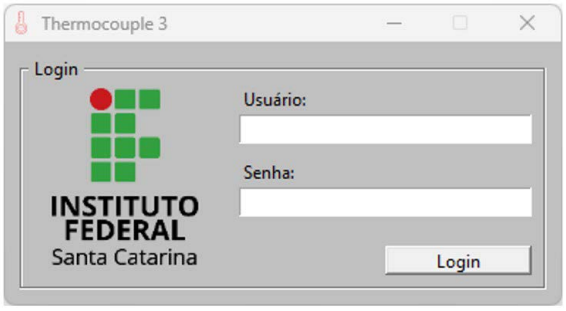
O código em C/C++ foi dividido em duas partes, uma para o Arduino e outra para o ESP8266. A primeira etapa foi desenvolver o código para o Arduíno pois é com ele a conexão do módulo MAX6675 com o Python. As bibliotecas “max6675.h” e “CD74HC4067.h”, sendo a primeira necessária para a utilização do módulo MAX6675 e a segunda do multiplexador, todo o código tem seu funcionamento baseado no multiplexador onde ele controla qual termopar o MAX6675 está conectado. Após realizar a leitura das 16 portas do multiplexador o Arduino disponibiliza todas as temperaturas coletadas em formato de String em sua porta serial.

Já o código para o ESP8266 é de certa forma mais complicado, pois além de ler a serial do Arduino ele precisa disponibilizar as informações das temperaturas em uma página HTML para a comunicação wireless com o código em Python. O ESP8266 foi configurado para disponibilizar uma rede Wi-Fi com o nome de “ThermoCouple” e de senha “Thermocouple”, onde o computador com o Thermocouple instalado se conecta a rede assim possibilitando a conexão do hardware com o software.

Desenvolvimento do código na linguagem Python

O objetivo da utilização da linguagem Python é tornar o processo de monitoramento térmico automático e “*user friendly*”, ou seja, amigável ao usuário. O código foi dividido em duas etapas: a interface gráfica e a geração do relatório. Para a etapa de confecção da interface gráfica o pacote *“Tkinter”* foi utilizado, para facilitar a sua utilização, o programa foi dividido em janelas. A seguir, o procedimento de iniciar um novo ensaio foi ilustrado para melhor compreensão do programa.

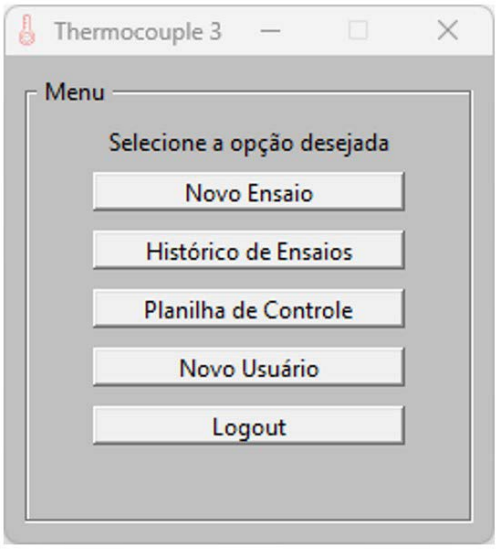
Figura 2 - Janela de login.



Fonte: autoria própria (2022)

A primeira janela vista na (figura 2) é responsável pela autenticação dos usuários cadastrados no programa.

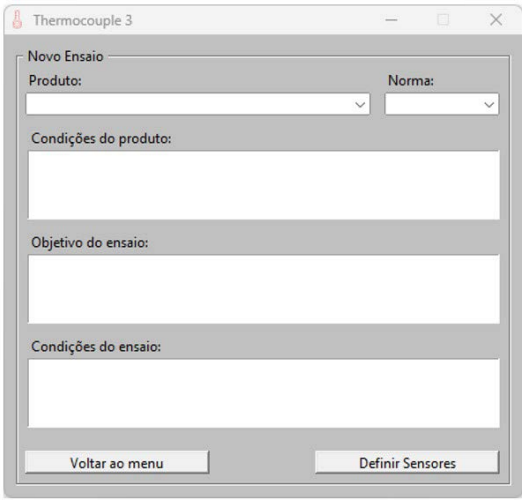
Figura 3 - Janela do menu do programa.



Fonte: autoria própria (2022)

A segunda janela vista na (Figura 3) é responsável por selecionar qual a função do programa é a desejada, nela é permitido iniciar um novo ensaio, verificar o histórico dos ensaios, abrir a planilha de controle, cadastrar um novo usuário e trocar de usuário.

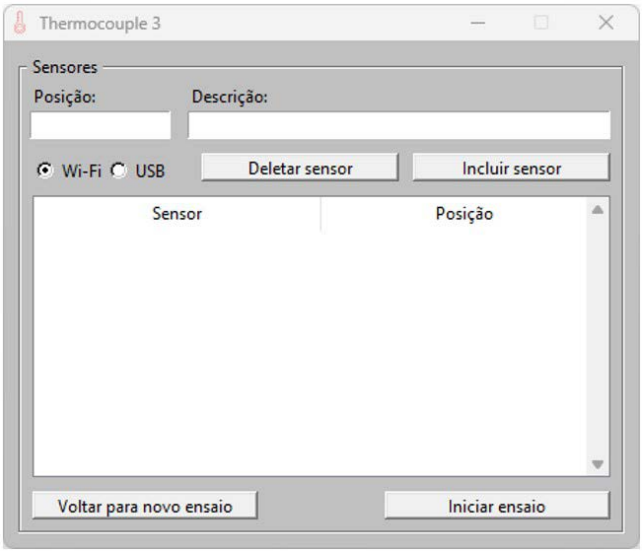
Figura 4 - Janela da configuração do ensaio.



Fonte: autoria própria (2022)

Entrado na opção de novo ensaio é aberta uma terceira janela vista na (Figura 4), onde nela algumas informações importantes para o ensaio são solicitadas como por exemplo, qual é o produto que esta será ensaiado, qual é a norma, quais são as modificações do produto, o por que o ensaio está sendo realizado, quais as condições do ensaio

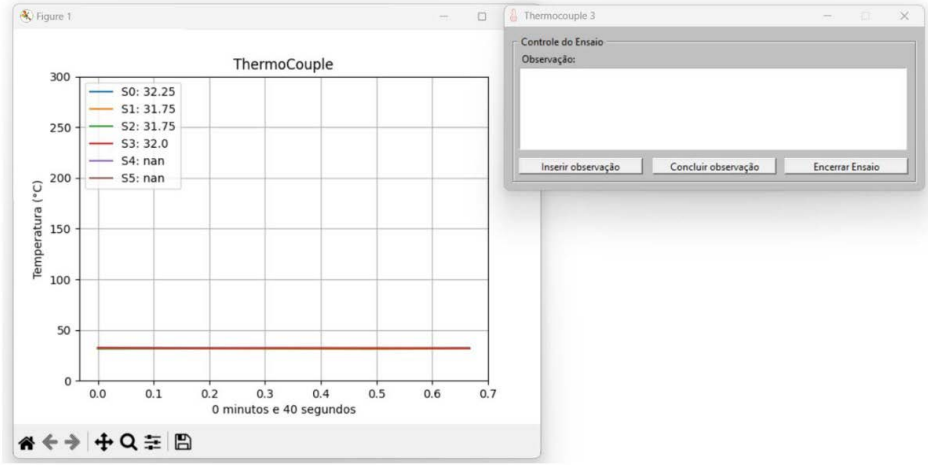
Figura 5 - Janela de configuração dos sensores.



Fonte: autoria própria (2022)

A (Figura 5) é uma quarta janela, nela é possível indicar ao programa qual é o método de conexão do hardware com o software, e também quais são os sensores e suas respectivas posições. Todos os sensores inseridos estarão dispostos na tabela, ela possibilita a fácil edição das informações dos sensores.

Figura 6 - Visão durante o ensaio.



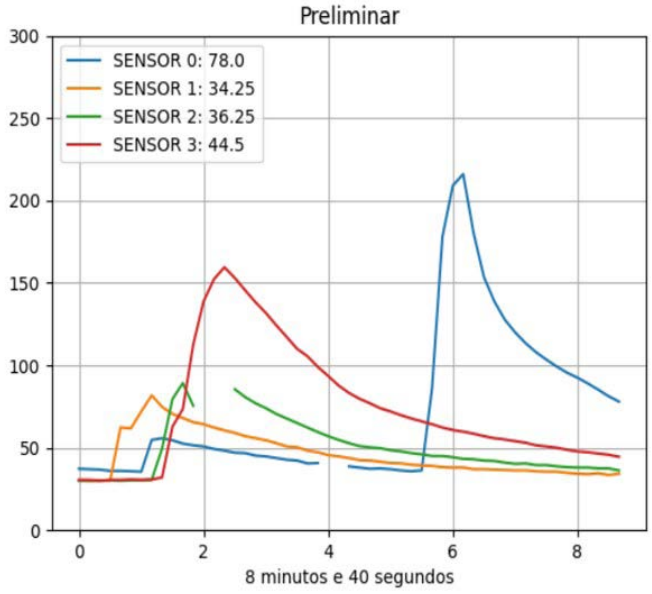
Fonte: autoria própria (2022)

A (figura 6) mostra a janela vista durante a realização do ensaio, onde é possível ver um gráfico com todas as temperaturas e uma janela que é possível inserir observações do ensaio e encerrar o ensaio antes do tempo de 60 minutos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para confirmar o funcionamento do ThermoCouple, foi realizado um ensaio preliminar, onde foram utilizados quatro sensores em conjunto. O teste foi realizado durante um período de aproximadamente 9 minutos, onde os termopares foram expostos a uma fonte de calor para poder visualizar seu funcionamento através do gráfico gerado pelo software de ensaio. Conforme a (figura 7), resultante do ensaio preliminar, foi possível notar falhas de medições dos sensores 0 e 2, essas falhas são provenientes das interferências provocadas pela conexão dos termopares ao multiplexador. Também é possível notar variações abruptas durante o ensaio, essas variações são provenientes de uma exposição dos termopares a fonte de calor durante um intervalo de tempo considerável.

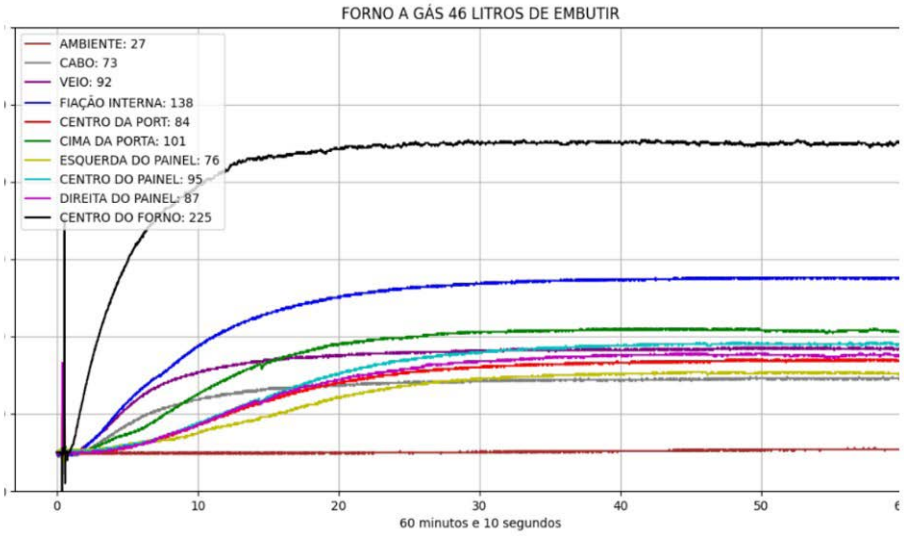
Figura 7 - Ensaio preliminar.



Fonte: autoria própria (2022)

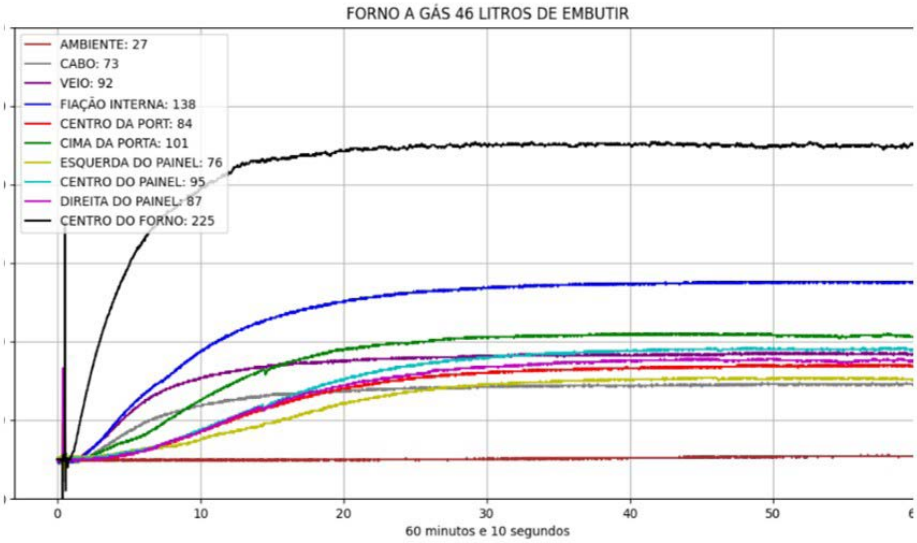
Confirmado o funcionamento do ThermoCouple, foi realizado um ensaio de 60 (sessenta) minutos em campo numa indústria de eletrodomésticos localizada no estado de Santa Catarina na cidade de Camboriú, o produto ensaiado foi um forno a gás com capacidade de 46 litros modelo de embutir. Foi utilizada a norma ABNT NBR 60335-2-102 item 11 para verificar os parâmetros obtidos nas (figuras 8 e 9).

Figura 8 - Ensaio em campo.



Fonte: autoria própria (2022)

Figura 9 - Elevação de temperatura.



Fonte: autoria própria (2022)

Através da (figura 8), é notório que o ThermoCouple foi capaz de coletar e monitorar os dados de todos os sensores definidos na plataforma de ensaio durante o período estabelecido. A (figura 9), gerada pelo ThermoCouple apresenta as temperaturas de cada sensor coletadas em um intervalo de 10 minutos e a relação de elevação comparado com a temperatura ambiente. O relatório do ensaio gerado pelo ThermoCouple gerou como resultado o modelo PDF das figuras e as observações registradas pelo operador durante todo o ensaio.

Como a norma 60335-2-102 especifica uma elevação máxima de 80 graus para os vidros frontais, sendo que a superfície da porta e do painel são compostos basicamente por vidro, e 65 graus para os cabos elétricos, através das (figuras 8 e 9), pode-se obter o resultado de aprovação do ensaio rapidamente sem a necessidade da realização de cálculos ou de outros artifícios para concluir tal fato.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O protótipo do ThermoCouple em sua versão final, apresentou um software capaz de realizar ensaios em produtos eletrodomésticos com foco principal em fornos elétricos. O software tem grande potencial de utilização em setores de qualidade onde necessitam da realização e gestão desses ensaios. Já seu hardware apresenta um baixo valor financeiro para elaboração e algumas falhas nas conexões dos termopares com o multiplexador. Por fim, o protótipo entrega ao que foi solicitado e especificado durante a elaboração do projeto.

REFERÊNCIAS

DA SILVA, Douglas; FREITAS, Brenda Juliet Martins. **Desenvolvimento de uma sonda para controle e monitoramento de temperatura utilizando a plataforma arduino. revista de engenharia e tecnologia**, v. 10, n. 1, páginas 268-277, 2018.

VIERA, Leonardo Brum; DE CARLI, Êvelyn Magalhães. **Desenvolvimento e implementação de um datalogger de temperatura para utilização em pesquisas na área da secagem artificial de grãos.** CRICTE, 2017.

Capítulo

15

Experimentos didáticos em servo acionamentos

Delano Câmara França
Gabriel da Silva Vieira
João Pereira dos Anjos
Marcos Aurélio de Oliveira
Nathália Rocha Lopes
Taylor da Silva Lima

RESUMO

Neste trabalho foi desenvolvido um conjunto de procedimentos sobre servo acionamento afim de auxiliar os conteúdos teóricos desenvolvidos na disciplina de Máquinas Elétricas II do curso de Tecnologia em Automação Industrial da Faculdade de Tecnologia Prefeito Hirant Sanazar e em disciplinas relacionadas ao tema com disponibilidade para aprendizado presencial ou a distância (EAD). Para isso, foram utilizados como base a apostila Fatec de acionamentos elétricos industriais, manuais de instruções e um conjunto de dados conseguidos com a pesquisa bibliográfica, com isso foi possível identificar os principais aspectos a serem desenvolvidos para se formar uma base em servo acionamentos. O desenvolvimento dos experimentos foi realizado no Laboratório de Máquinas Elétricas, onde iniciou-se a elaboração dos relatórios, no qual, foi só possível durante as aulas de máquinas elétricas apresentar e testar junto a turma de automação industrial do quinto semestre período matutino. A partir das informações obtidas, durante a execução dos relatórios foram identificados e solucionados problemas que poderiam causar uma situação erronia de montagem e pontos a serem mais bem explorados. Por fim, foram atendidas as solicitações dos alunos na melhoria dos relatórios e criação de alguns desafios para agregar no desenvolvimento em servo acionamentos visando estimular o pensamento para solução possam acontecer quando estiverem atuando na área.

Palavras-chave: automação industrial; conteúdo didático; máquinas elétricas servo acionamento.

ABSTRACT

In this work, a set of reports on servo converters was developed to assist the theoretical contents developed in the Electrical Machines II discipline of the Industrial Automation Technology course at the Mayor Hirant Sanazar Faculty of Technology and in disciplines related to the topic with availability for face-to-face learning or distance (EAD). For this purpose, the Fatec booklet on industrial electrical drives, instruction manuals and a set of data obtained from bibliographical research were used as a basis, making

it possible to identify the main aspects to be developed to form a basis in servo drives. The development of the experiments was carried out at the Electrical Machines Laboratory, where the preparation of reports began, where it was possible during the electrical machines classes to present and test with the industrial automation class of the fifth semester in the morning. From the information obtained during the execution of the reports, problems that could cause a misunderstanding of assembly and points to be better explored were identified and resolved. Finally, the students' requests were met to improve reports and create some challenges to add to the development of servo drives, aiming to stimulate thinking so that solutions can happen when they are working in the area.

Keywords: industrial automation; didactic content; servo drive electric machines.

INTRODUÇÃO

A automação desempenha um papel fundamental na indústria, oferecendo uma série de benefícios econômicos e ergonômicos. Economicamente, uma empresa que adota processos automatizados obtém a redução dos custos operacionais, aumenta a produtividade, minimiza erros humanos e reduz os períodos de inatividade das máquinas. Do ponto de vista ergonômico, a automação ajuda a evitar Lesões por Esforço Repetitivo (LER), reduz a exposição dos colaboradores a ambientes de risco e contribui para uma melhor qualidade de vida dos operadores. Além disso, a automação resulta em produtos mais padronizados, melhorando a competitividade e o desempenho global da empresa. (Araújo, Chagas, Fernandes, 2003) (Cabral, 2015) (Neves; Duarte; Viana; Lucena, 2007) (Penedo, 2014)

Para a implantação de um processo automatizado, diversos componentes são utilizados para criar sistemas automatizados eficientes e precisos. Alguns dos principais componentes incluem: Os CLPs são dispositivos eletrônicos programáveis utilizados para controlar máquinas e processos industriais. Eles executam lógica de controle baseada em programas desenvolvidos pelos engenheiros de automação; Os sensores são dispositivos que detectam mudanças em variáveis físicas, como temperatura, pressão, proximidade, posição, entre outras. Os transdutores convertem essas variáveis em sinais elétricos utilizáveis pelo sistema de controle; Os atuadores convertem sinais elétricos em movimento mecânico. Por exemplo, motores elétricos, cilindros pneumáticos e cilindros hidráulicos são tipos comuns de atuadores usados na automação industrial; A Interface Homem-Máquina (HMI) é a interface que permite a interação entre operadores humanos e o sistema automatizado. Geralmente consiste em telas sensíveis ao toque ou painéis com botões e indicadores para monitorar e controlar os processos industriais; as redes industriais são usadas para conectar diferentes dispositivos e componentes em um sistema de automação, permitindo a comunicação de dados em tempo real. Exemplos incluem Ethernet/IP, Profinet, DeviceNet, entre outras. Os robôs industriais são usados para automatizar tarefas de montagem, soldagem, pintura, paletização, entre outras. Eles são controlados por sistemas de automação para realizar operações precisas e repetitivas; O software de automação é usado para programar, monitorar e controlar os processos industriais. Isso inclui software para programação de CLPs, sistemas SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) e sistemas MES (*Manufacturing Execution Systems*); Os servoacionamentos são usados para

controle preciso de posição, velocidade e torque em máquinas e equipamentos industriais. Eles consistem em servomotores, drives de servo e controladores dedicados; dentre outros. (Cabral, 2015) (Neves; Duarte; Viana; Lucena, 2007) (Penedo, 2014)

> Os servoconversores desempenham um papel no controle preciso de sistemas mecânicos, permitem uma precisão quase cirúrgica na posição, torque e velocidade de motores elétricos, resultando em uma produção de alta qualidade. Além disso, oferecem uma resposta dinâmica rápida, adaptando-se prontamente às variações de carga, sendo particularmente úteis em aplicações robóticas, como impressoras 3D e equipamentos de embalagem. Sua utilização é de grande importância, dada a diversidade de aplicações e sua alta eficiência, sendo adequados tanto para aplicações críticas quanto simples (WEG, 2024).

Este trabalho visa desenvolver um experimento prático para cursos presenciais e materiais para cursos online/EAD sobre servo acionamentos, utilizando o servoconversor SCA06 e o servomotor SWA-56-2-2.5-20.

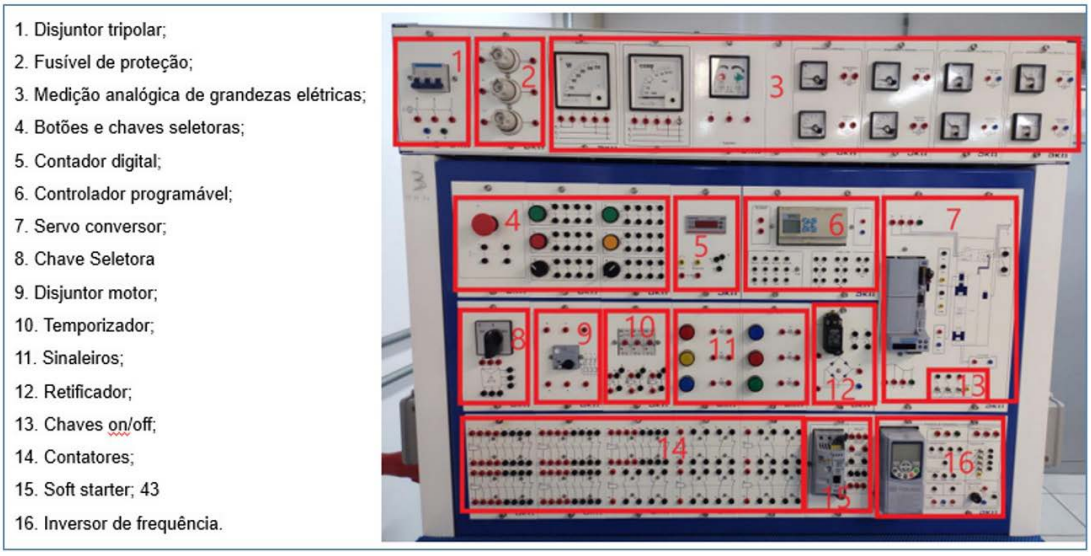
DESENVOLVIMENTO

Conduzido no laboratório de Máquinas Elétricas da Faculdade de Tecnologia de Osasco. Para os experimentos foi utilizada a bancada da marca DK8 Tecnologia Educacional, que oferece uma ampla variedade de experimentos com inversor de frequência, soft starter, servo conversor, contatores e outros dispositivos de acionamento. Neste trabalho foram o desenvolvimento de experimentos utilizando acionamentos elétricos via servo conversores controlados por IHM (Interface Homem-Máquina).

Caracterização da Bancada

A figura 1 apresenta uma fotografia da bancada da empresa DK8 tecnologia educacional presente no laboratório de máquinas elétricas, onde é possível observar a presença de componentes como:

Figura 1 - Bancada didática DK8.

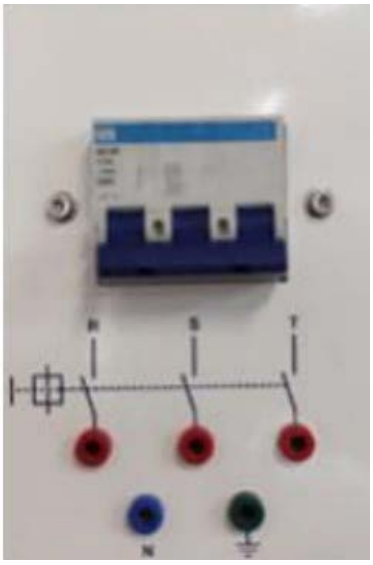


Fonte: autor.

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes componentes da bancada: DK8, a figura 2 apresenta a imagem do disjuntor tripolar presente na bancada e

utilizado nos experimentos.

Figura 2 - Disjuntor tripolar curva C 20A.



Fonte: autor.

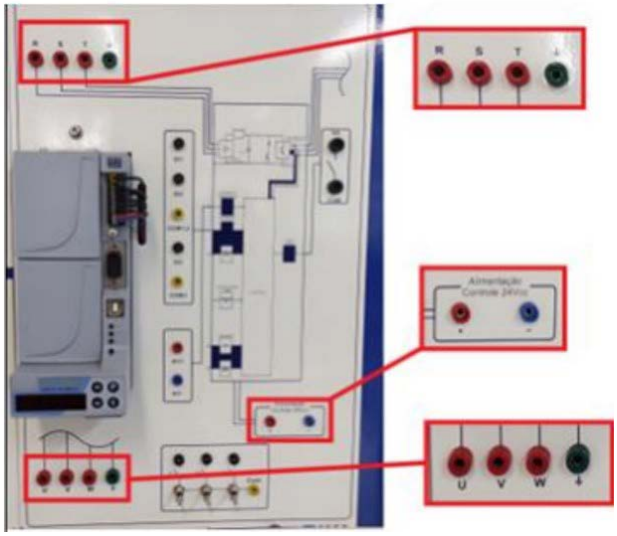
A função do disjuntor apresentado na figura 2 é a proteção da instalação, caso haja níveis de corrente elevado ele atuará desligando o sistema. Nessa aplicação fio utilizado um disjuntor tripolar de 20 amperes, numa rede de alimentação trifásica 220 volts corrente alternada. É possível verificar, na figura 2 que o disjuntor tem suas saídas (R, S, T) mais o ponto terra e o neutro. A partir das saídas do disjuntor ocorre a alimentação para a entrada de potência do servo conversor SCA06 e para o relé programável (figura 3) que alimenta com 24 volts corrente contínua o comando do servo conversor.

Figura 3 - Relé programável.

Fonte: autor.

O relé programável CLIC02 possibilita comunicação em rede, atendendo aplicação em processos de automação, através das funções Datalink, Modo Remoto e Modbus, no entanto para essa aplicação só será utilizado sua saída 24vcc para alimentação do SCA06 apresentado na figura 4.

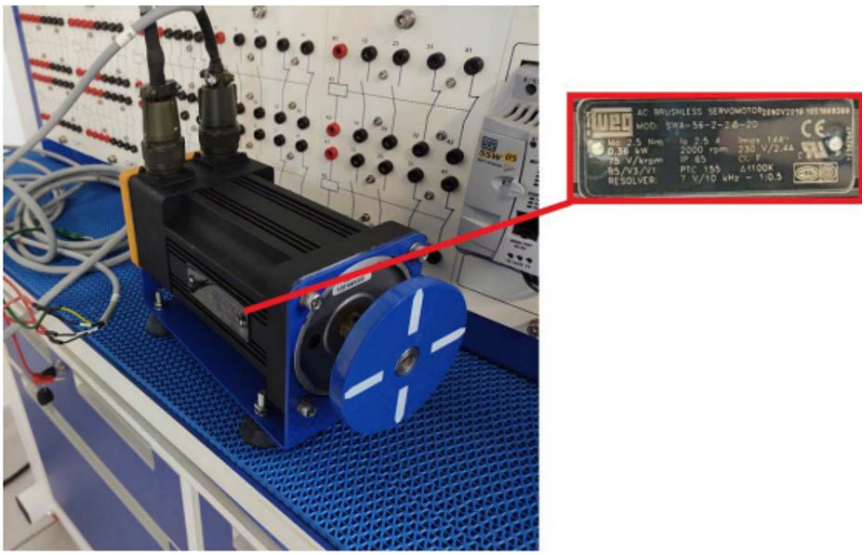
Figura 4 - Servo conversor SCA06.



Fonte: autor.

O servo conversor é um componente que permite o controle de velocidade, torque e posição de servomotores de corrente alternada senoidal trifásicos. Na bancado o modelo disponível é o SCA06, um modelo completo e de fácil utilização, que permite o controle de servo motores, e nessa aplicação o modelo SWA-562-2.5-20 (figura 5) proporcionará a possibilidade dos testes.

Figura 5 - Servo motor SWA-562-2.5-20.



Fonte: autor.

Após a compreensão dos itens já citados foi possível identificar e operar o equipamento (SCA06). Para energizar o servo conversor e operá-lo é importante conhecer alguns procedimentos e parâmetros. Quando o SCA06 está ligado o primeiro parâmetro a aparecer é o P00000, esse parâmetro é utilizado como senha contudo a senha para acessar/ modificar os demais parâmetros é 00005. Desta forma para se iniciar a programação deve-se pressionar a tecla prog (P) e em seguida incrementa (através das teclas incremento “setas”) até o número 5 aparecer na posição de digito 1(primeira casa decimal do display) em seguida pressiona prog (P) novamente. A figura 6 demonstra o processo.

Figura 6 - Tela da HMI demonstrando parametrização.

Fonte: autor.

O display indica diversas telas, um exemplo quando está no modo busca como citado na figura 6, o digito 6 onde fica a letra “P” enquanto os outros aparecem números, outro exemplo é quando está baixando um programa no CLP do servo conversor, o digito 1 fica com a letra “d” de piscando.

DO PROCEDIMENTO

Procedimento 1- conexão dos cabos de potência

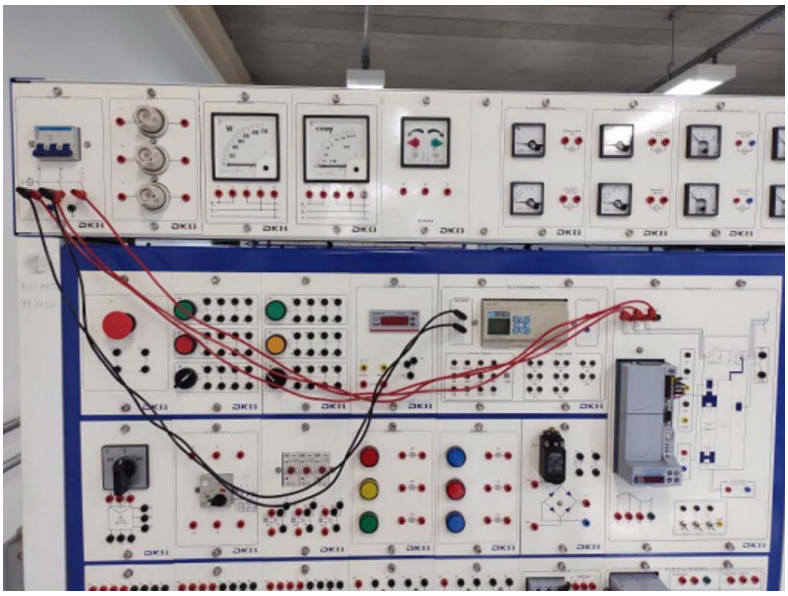
A conexão dos cabos de potência no servo conversor e no relé programável, deve ser realizada com o sistema desenergizado para segurança na montagem. Após a esta verificação deve-se utilizar cabos com pino banana para conectar a saída do disjuntor como ilustra a figura 7.

Figura 7 - Ligação no disjuntor.

Fonte: autor.

Tendo conectado os cabos ao disjuntor deve-se conectar na entrada “X9” do servo conversor as fases R, S e T respeitando a ordem, o cabo terra também deve ser conectado, em seguida utilize as fases R e S da saída do disjunto para alimentar o relé programável como demonstrado na figura 8

Figura 8 - Ligação da potência servo acionamento.

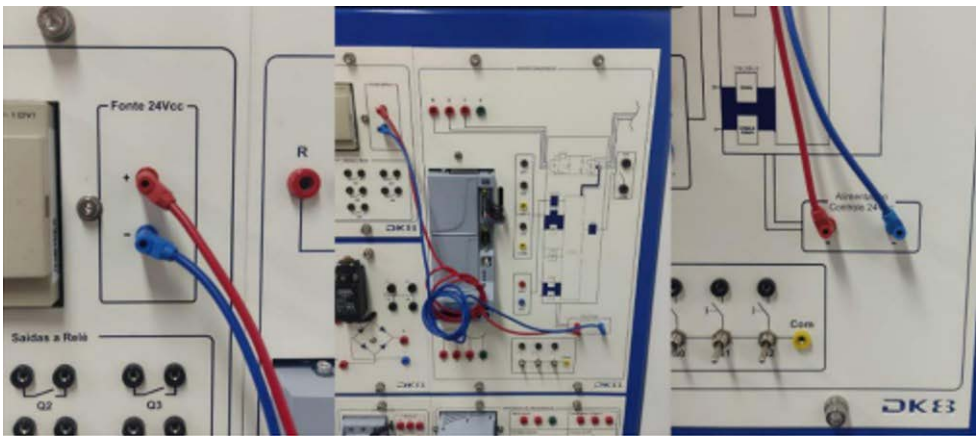


Fonte: autor.

Procedimento 2 – conexão do comando

Para a conexão do sistema de comando deve-se utilizar a ligação dos “24Vcc” da saída do relé programável na entrada “X5 Vcc” do servo conversor. Observar com atenção para ligar positivo e negativo de forma correta. Utilizando cabos com pino banana na vermelha para positivo e azul para negativo, a ligação é demonstrada na figura 9.

Figura 9 - Conexão dos 24Vcc.



Fonte: autor.

Procedimento 3 - conexão do servo /motor

Para essa conexão será necessário dois cabos, o de potência para alimentação do servo motor na saída “X8” do servo conversor e outro cabo é do resolver conectado na saída “X2” com uma chave de fenda cruzada (Philips), que faz a comunicação informando ao servo conversor a posição atual do motor. Para a conexão do cabo de potência é necessário ligar de forma correta respeitado a ordem U, V e W da saída do servo conversor (observar as letras no cabo de alimentação). A ligação no motor não é complexa, os cabos têm pinagens distintas, é possível verificar na figura 10

Figura 10 - Conexão do cabo de potência no motor.

Fonte: autor.

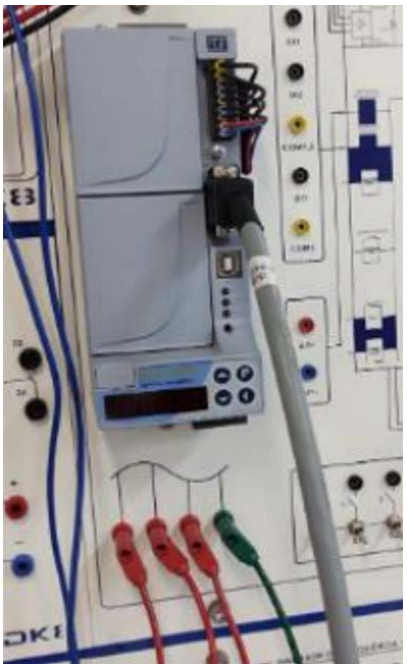
Enquanto o cabo de potência tem 4 pinos, o cabo de resolver tem 10 pinos como ilustrado na figura 11, além disso ambos têm um chanfro que impossibilita a conexão errônea dessa pinagem.

Figura 11 - Conexão do cabo de resolver no motor.

Fonte: autor.

Com os cabos conectados no motor a conexão no servo conversor é simples, na bancada existe a identificação U, V e W e nos cabos também, e a ligação do cabo terra é indispensável para evitar acidentes que possam danificar o servo motor. O cabo de resolver só é possível conectar na saída X2 do servo conversor, a figura 12 apresenta os cabos conectados.

Figura 12 - Cabos do servo motor conectados no servo conversor.

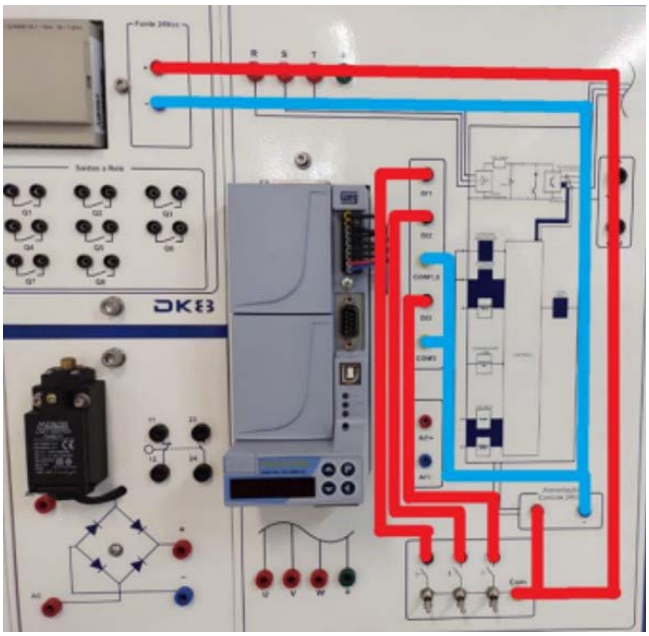


Fonte: autor.

Procedimento 4 – conexão das chaves on/off

As ligações iniciam na “entrada 24Vcc” do servo conversor deve se identificar o positivo e negativo. O negativo será ligado no comum abaixo da entrada digital 2 (DI2) e abaixo da entrada digital 3 (DI3) do borne “X1” como indica a linha azul da figura 38, o positivo deve ser ligado no comum das chaves, a saída da chave “S0” deve ser conectada na entrada digital 1 (DI1), a saída da chave “S1” deve ser conectada na entrada digital 2 e a saída da chave “S2” deve ser conectada na entrada digital 3 do borne “X1” do servo conversor como indica a linha vermelha, a figura 13 demonstra a conexão.

Figura 13 - Ligação das entradas digitais.

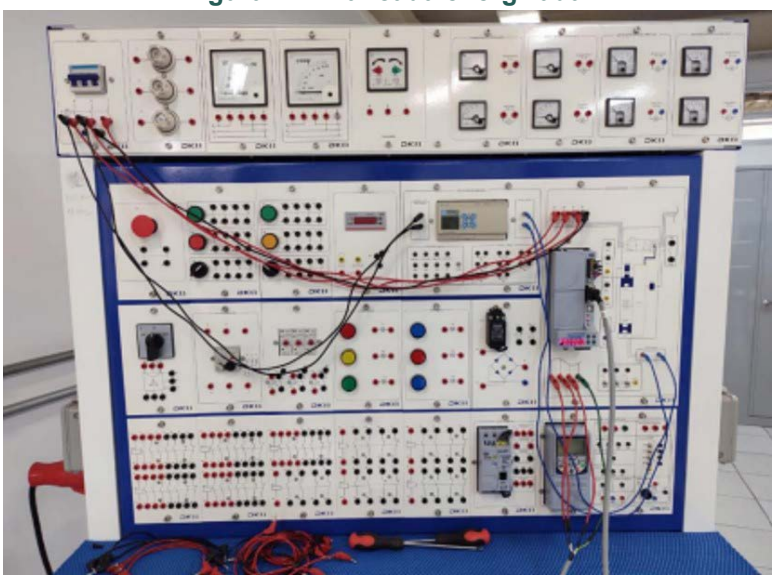


Fonte: autor.

PROPOSTA DE RELATÓRIO 1 - POSICIONAMENTO DO MOTOR (VIA PARÂMETROS) - MOVIMENTO DE VELOCIDADE

Para a realização da atividade inicialmente se deve fazer as conexões elétricas, siga os procedimentos de 1 a 3 com a bancada desenergizada. Após a verificação se todos os cabos estão conectados de forma correta e não estão com folga nos bornes, feito isso, já pode ser realizada a energização, para isso basta ligar a bancada na lateral e ligar o IDR e o disjuntor, o servo conversor irá acender o display com o parâmetro “P00000”, a figura 14 exemplifica essa ação.

Figura 14 - Bancada energizada.



Fonte: autor.

Agora basta iniciar a parametrização via IHM, para isso seguir a lista de procedimentos:

- P00000 – pressione a tecla “prog” em seguida incrementa até “00005” (liberando acesso para alteração de parâmetros)
- OBS. Após inserir a senha verificar se o parâmetro P00099=0.
- P00204 - pressione a tecla “prog” em seguida incrementa até “00013” (Reseta no padrão de fabrica os parâmetros)
- Verifique se o eixo do servo motor está livre, se não estiver vá ao parâmetro “P00099” e altere de “1” para “0” e faça o reset novamente, se estiver livre o procedimento funcionou, continue a parametrização.
- P00000 – pressione a tecla “prog” em seguida incrementa até “00005” (repetindo processo após reset)
- P00385 - pressione a tecla “prog” em seguida incrementa até “00003” (modelo do servo motor SWA 562-2.5-20), tabela1

Tabela 1 - Tabela de modelos de servo motor.

P00385	Modelo do Servomotor - (220 V a 230 V)	P00385	Modelo do Servomotor - (380 V a 480 V)
0	Nenhum modelo selecionado	50	Reservado
1	Reservado	51	Reservado
2	Reservado	52	Reservado
3	SWA 562-2,5-20	53	Reservado
4	SWA 562-3,8-20	54	Reservado
5	SWA 562-6,1-20	55	SWA 564-6,1-20

Fonte: manual SCA06

- P00099 – pressione a tecla prog em seguida incrementa até “00001” (habilita o servo motor) • nesse momento o eixo do servo motor deve ficar fixo, caso não fique, deve verificar a ligação e os cabos pois sua ligação está com algum defeito.
- P000121 – pressione a tecla incremente (indica o RPM do motor)
- O motor inicia a rotação no sentido horário, o limite do servo motor presente na bancada é de 2000 RPM, ao finalizar o teste reduza para 0.
- P000121 – pressione a tecla decremente (indica o RPM do motor) O motor inicia a rotação no sentido anti-horário, no display no sexto digito aparecerá um sinal de negativo (-) e subsequente a velocidade em RPM.

ATENÇÃO - Não altere o sentido de giro do motor quando estiver com um alto RPM, pois pode danificar o servo motor.

NOTA – Para desmontar o circuito desenergize a bancada, não retirar nenhum cabo antes de realizar esse processo

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização dos modelos de relatórios propostos, eles foram aplicados em sala de aula junto a disciplina de Máquinas Elétricas II do curso de Automação Industrial da FATEC Osasco, inicialmente foram apresentados os relatórios e componentes que seriam utilizados.

Em seguida foi iniciado a aplicação dos primeiros relatórios realizando montagem e a programação via parâmetros. Durante as execuções dos experimentos foram anotados, analisados e alterados os pontos que de acordo com os alunos havia dificuldades. O procedimento foi aplicado para os relatórios realizados via software.

Após a conclusão os alunos avaliaram a praticidade dos relatórios para a realização das atividades e indicaram pontos que tornariam o documento didaticamente menos complexo facilitando a execução dos processos. Por fim, o documento foi corrigido de acordo com as indicações dos alunos e ficou a disposição para a aplicação com novas turmas, com isso coletando novos dados para otimizar ainda mais o documento.

Desta forma este trabalho visou contribuir com o processo de ensino e aprendizagem sobre servo conversores, tanto para cursos presenciais, treinamentos ou aulas virtuais.

REFERENCIAS

ARAÚJO JR., A. P. DE. CHAGAS, C. V. DAS, FERNANDES, R. G. **Uma rápida análise sobre automação industrial.** Redes para Automação Industrial – 2003.1 Disponível em: https://www.dca.ufrn.br/~affonso/FTP/DCA447/trabalho1/trabalho1_6.pdf. Acesso em 20/abril/2024.

CABRAL, Gabriel Mariz Bezerra. **Prática com servoacionamento e inversor de frequência para execução no laboratório de eletricidade aplicada da FGA-UNB**. Monografia (graduação)— Universidade de Brasília, Faculdade UnB Gama, Curso de Graduação em Engenharia de Energia, 2015.64 pg.

NEVES, C..;DUARTE, L.; VIANA, N.; LUCENA Jr, V. F. de.; **Os dez maiores desafios da automação industrial: As perspectivas para o futuro**. In: II Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica. 2007. Disponível em: https://1library.org/document/zwv7g011-automa%C3%A7%C3%A3o-industrial-pequenas-m%C3%A9dias-grandes-empresas-estudo-te%C3%B3rico.html#google_vignette Acesso em: 30/04/2024.

PENEDO, S. R. M. 2014. **Servoacionamento:** Arquitetura e Aplicações. Editora Erica, série eixos. 2014.

WEG. **Servoconversor SCA06, Servomotor SWA** – Disponível em: https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hf2/h52/WEG-SCA06-manualde-programacao-10000662686-pt.pdf. Acesso em 08/maio/2024

WEG. Guia de Aplicação: **Servoacionamento.** Disponivel em: https://professorcesarcosta.com.br/upload/imagens_upload/Guia_de_Aplicacao_de_Servoacionamentos.pdf. Acesso em 30/abril/2024.

Capítulo

16

Bioatividade de extrativos vegetais de espécies Arbóreas da família Fabaceae da Amazônia central frente a cupins *Nasutitermes* (Isoptera; Termitidae)

Cristiano Souza do Nascimento
Ana Paula Ribeiro Barbosa
José Wellington de Morais
José Carlos Rodrigues Soares
Valdiek da Silva Menezes
Claudia Eugenio da Silva
Roberto Daniel de Araújo

RESUMO

A madeira está sujeita à degradação causada por organismos conhecidos como xilófagos, que se alimentam dela. Composta principalmente de celulose, hemicelulose e lignina, a madeira fornece uma rica fonte de nutrientes para várias espécies de fungos e cupins, incluindo açúcares, resinas e amidos. No entanto, algumas espécies de madeira desenvolveram resistência a esses organismos, produzindo substâncias defensivas que as protegem. Estas substâncias, encontradas nos extrativos da madeira, incluem compostos como taninos, alcaloides, terpenos, flavonoides, entre outros, que possuem propriedades tóxicas e/ou repelentes. Atualmente, a biodegradação é um dos principais desafios no uso da madeira, pois muitas espécies têm baixa durabilidade natural, e os preservativos sintéticos, em sua maioria compostos por organofosforados e piretróides, apresentam alta toxicidade para os seres humanos. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de extrativos obtidos da casca de espécies arbóreas de Fabaceae da Amazônia Central frente ao ataque de cupins *Nasutitermes* spp., em testes de laboratório, visando determinar sua potencialidade para usos como inseticida de base natural. Os extrativos obtidos das cascas de Fabaceae *macrocarpa* (Faveira), *Ormosia excelsa* (Tento-amarelo), *Aldina heterophylla* (Macucu-de-paca), *Swartzia polyphylla* (Araba), *Albizia subdimidiata* (Faveira-do-igapó) e *Campsiandra chigo montero* (Acapurana), apresentam propriedades de repelência a cupins *Nasutitermes* spp. As espécies *Pentaclethra macroloba* (Paracaxi) e *Albizia subidimidiata* apresentaram maiores teores de extrativos alcoólicos. Enquanto que as espécies *Crudia amazonica* (Lombrigueiro) e *Albizia polyantha* (Ingarana-da-várzea) os maiores índices de polifenóis totais, sendo que a espécie *Tachigali paniculata* (Tachi-preto) apresentou altos índices tanto de polifenóis totais quanto extrativos alcoólicos.

Palavras-chave: extrativos; proteção da madeira; organismos xilófagos; Fabaceae.

AYA Editora©

INTRODUÇÃO

Na década de 40 do século passado descobriu-se que as plantas respondiam ao ataque de patógenos através da síntese de compostos de defesa. Com isso, chegou-se ao isolamento de inúmeros produtos naturais com atividades antimicrobiana, inseticida e medicinal. A partir da caracterização química desses compostos, abriram-se diversas possibilidades de sua aplicação, como o uso na proteção de determinadas espécies vegetais e também servindo de modelos estruturais para a síntese de inseticidas naturais. Além disso, representou um grande avanço no conhecimento das estratégias químicas de defesa de que certas espécies vegetais dispõem contra o ataque de microrganismos (Braga *et al.,* 1991; Lima Neto *et al.,* 2015).

Diversas classes de produtos naturais como alcalóides, terpenos, compostos fenólicos e flavonóides, entre outros, têm sido descritas como possuidoras de atividades. Como usualmente o mesmo tipo de grupamentos químicos é acumulado por plantas relacionadas, essas substâncias têm sido utilizadas como marcadores químicos, permitindo traçar laços de parentesco entre as espécies vegetais inseticidas (Maraschin e Verpoorte, 1999; Harborne, 1999; Simões *et al.,* 2017).

Substâncias encontradas nos tecidos lenhosos como na madeira, bem como nas cascas, galhos, folhas, raízes, flores, frutos e sementes de espécies vegetais, são objetos de estudos sobre propriedades tóxicas a organismos de natureza variada, e dentre eles fungos e insetos que atacam a madeira. A madeira apresenta uma gama variável de utilização, tanto no meio rural quanto urbano. Porém, em virtude da sua estrutura e constituição química à base de compostos orgânicos, está sujeita à biodegradação por organismos que se alimentam do tecido lenhoso (Barbosa *et al.,* 2007; Hanada *et al.,* 2012).

As características edafoclimáticas das regiões tropicais e subtropicais favorecem o desenvolvimento de organismos xilófagos. Entre os insetos xilófagos, os térmitas são os mais severos agentes destruidores da madeira, e estão distribuídos, praticamente em todo o planeta, principalmente nas zonas tropicais (Paes *et al.,* 2003; Morais *et al.,* 2012). Atualmente, a biodegradação tem se constituído em um dos mais sérios problemas para o emprego da madeira, visto que muitas espécies apresentam baixa durabilidade natural, e os preservantes sintéticos, na maioria à base de organofosforados e piretróides, têm apresentado uma alta toxicidade ao homem e ao meio ambiente (Cabrera *et al.,* 2001; Carvalho *et al.,* 2018).

A fim de evitar, ou pelo menos atenuar a biodegradação da madeira, vários estudos com barreiras físicas e ainda testes de compostos de origem natural têm sido avaliados em bioensaios, visando identificar substâncias que possam ser empregadas na formulação de produtos preservantes de madeira que apresentem não somente boa eficiência como também baixa toxicidade ao homem e ao meio ambiente (Nascimento e Vianez, 2012; Pierrot *et al.,* 2022). Neste contexto, estudos a partir de compostos químicos constituintes de madeiras de alta resistência natural a organismos xilófagos têm sido realizados, pois certos grupamentos químicos são capazes de conferir propriedades de durabilidade excepcionais às madeiras onde ocorrem naturalmente. Levando em conta os aspectos apresentados, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de extrativos obtidos da casca de

espécies florestais da Amazônia Central frente ao ataque de cupins *Nasutitermes* sp., em bioensaios em laboratório, visando determinar a potencialidade desses extrativos para usos como inseticida de base natural.

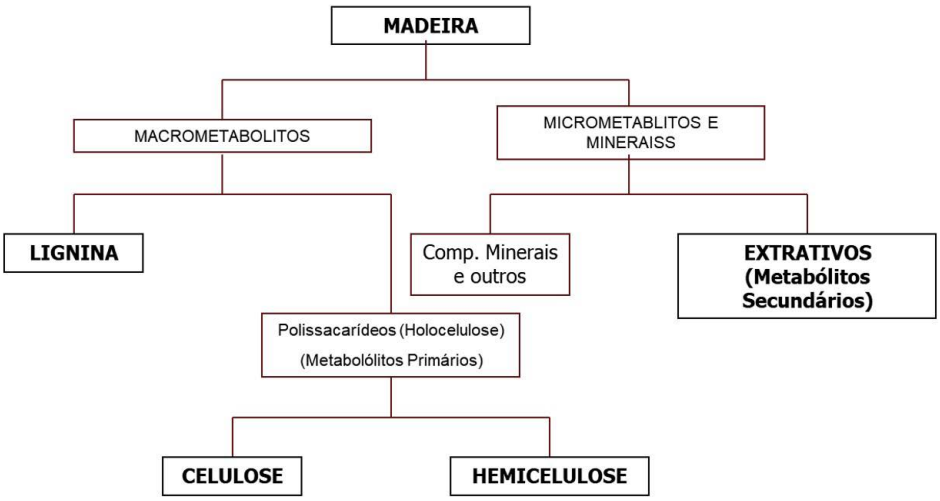
CONSTITUINTES DA MADEIRA E CASCA

A madeira é distinta de outros materiais por apresentar um conjunto formado por paredes celulares e espaços vazios (lume das células). Sua estrutura celular típica é constituída por células tubulares, formadas por uma matriz de celulose, hemicelulose e lignina e, em menor proporção, por compostos inorgânicos e extrativos (Kollmann e Côté, 1968; Silva e Silva, 1991; Rowell, 2012). Por serem facilmente extraídos (solúveis) em água ou solventes orgânicos neutros, os metabólitos secundários são denominados em tecnologia de madeira como extrativos, os quais são considerados subprodutos da quebra de açúcares do metabolismo primário (Cunha, 1990; Nascimento *et al.,* 2023).

A variação da composição química é significante entre as espécies, e dentro da mesma espécie, em função principalmente da idade, fatores genéticos e ambientais. Os extrativos variam também ao longo da árvore que em geral são constituídos de ácidos graxos, resinas ácidas, materiais fenólicos, e outros, como os carboidratos solúveis e gorduras, estão presentes no alburno da árvore (Barbosa *et al.,* 2006; Sjöström, 2013; Nascimento *et al.,* 2013). Um esquema geral da composição química e alguns aspectos macroscópicos da madeira podem ser observados nas figuras 1 e 2.

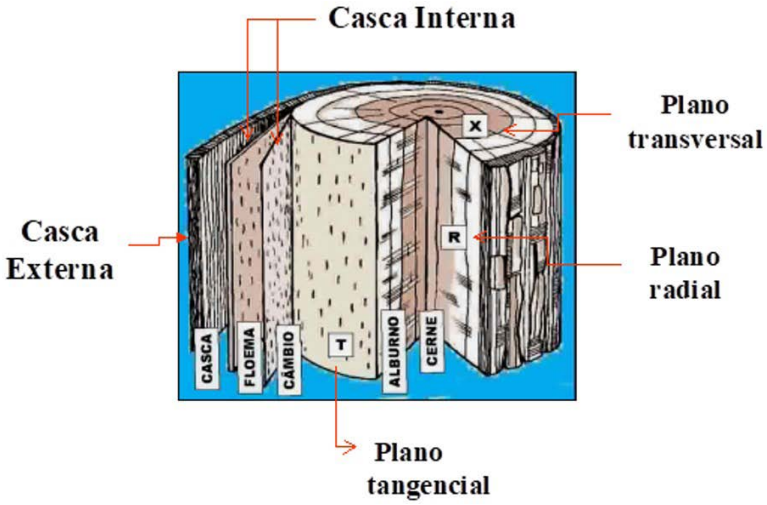
Após a madeira, a casca da árvore vem a seguir em importância. As cascas possuem um comportamento diferente da madeira quanto ao inchamento, são menos anisotrópicas, apresentam coeficiente de transmissão de calor ligeiramente menor que a madeira, e são menos resistentes com respeito às propriedades mecânicas que a madeira apresenta (Fengel e Wegener, 2003; Sobot *et al.,* 2023). Em composição química, as cascas diferem da madeira pela presença em maior teor de polifenóis e suberinas, teor menor em polissacarídeos. O conteúdo em celulose varia bastante (16 - 41%), dependendo da origem da árvore. Os estudos que têm sido efetuados demonstraram que tanto a madeira quanto a casca possuem ligninas com estruturas similares, mas apresentam algumas diferenças quanto à proporção dos componentes. A casca é muito mais rica em minerais do que a madeira, que é composta de sais de potássio, sódio, magnésio, ferro e em menores proporções de manganês. Enquanto, que a sílica pode constituir em algumas espécies florestais cerca de 1/3 do peso das cinzas (Cavalcante *et al.,* 2012; Rowell, 2012).

Figura 1 - Esquema geral da composição química da madeira.



Fonte: autor.

Figura 2 - Aspecto macroscópico do lenho (adaptado de Cunha *et al.*, 2002).



Fonte: autor.

O conteúdo em extrativos é maior na casca do que na madeira. Várias espécies contêm poliflavonóides, principalmente taninos condensados, além de outros polifenóis, suberinas (materiais insolúveis), esteróis, estilbenos, etc. A casca interna geralmente é rica em nutrientes como gorduras, amido, açúcares simples, esteróis livres ou esterificados, compostos fenólicos. Ao contrário, a casca externa tende a ser deficiente em nutrientes, glicosídeos e alguns metabólitos secundários, mas contém compostos como taninos hidrolisáveis e condensados e vários outros polifenóis, resinas, além de outros compostos. A casca externa pode ainda apresentar gomas, bálsamo e compostos que funcionam como protetores dos tecidos metabolicamente inativos contra o ataque de agentes biológicos de deterioração (Browning, 1963; Fengel e Wegener, 2003).

ASPECTOS DA BIODETERIORAÇÃO DA MADEIRA

O material madeira é o recurso natural mais antigo de que dispõe o homem. Desde sempre, da madeira se obtém combustível, ferramentas, alimentos e proteção e, ainda hoje pode-se dizer que parte de seu emprego é feita empiricamente, como obra

de artesanato. Por sua natureza, a madeira sofre todos os processos de deterioração causados por organismos biológicos, que podem iniciar-se com a derrubada da árvore na floresta, ficando predisposta à colonização por um grande número de organismos. Pois, as condições proporcionadas pela floresta tropical úmida conferem um perfeito habitat ao desenvolvimento de organismos xilófagos (Cardias *et al.,* 1985; Nahuz, 2013).

Dentre os seres capazes de se estabelecer na madeira, fungos e insetos são os mais importantes economicamente pela sua alta capacidade destrutiva, pois aproveitam os elementos da madeira para sua alimentação. Por outro lado, contribuem para a manutenção do equilíbrio na natureza, ao transformar os compostos químicos da madeira morta em substâncias vitais para o desenvolvimento de uma nova vida, mais, ao mesmo tempo, constituem um problema para o homem, que se empenha em proteger e prolongar o tempo de utilização da madeira e seus produtos (Castro e Guimarães, 2018).

A durabilidade natural da madeira e sua preservação são dois fatores que determinam, em grande parte, sua utilização, principalmente em países tropicais. Sendo que madeiras pouco resistentes é indicado a preservação química, prática bastante difundida no mundo inteiro (Silva e Silva, 1991; Vianez e Abreu, 2012). A preservação da madeira é definida como um conjunto de produtos, métodos, técnicas e pesquisas destinadas a alterar, medir ou estudar a durabilidade da madeira, podendo ser dividida em preservação natural, indireta, biológica e química. Sendo que a química se faz através da introdução de produtos químicos dentro da estrutura da madeira, visando torná-la tóxica aos organismos que a utilizam como alimento. A preservação química da madeira é provavelmente o método mais antigo. O primeiro foi feito por Noé, que teria sido instruído por Deus para que protegesse o casco de sua embarcação com piche (Carvalho *et al.,* 2018).

De maneira geral, os produtos sintéticos utilizados contra a biodegradação têm sido bastante difundidos no mundo inteiro. Um bom preservante de madeira deve reunir algumas características como boa toxidez; não ser volátil e nem lixiviável; facilidade de ser encontrado no mercado; ser econômico; inodoro e inofensivo as pessoas e animais domésticos. Os preservantes comerciais empregados atualmente pertencem a dois grupos distintos: preservativos oleosos, como, por exemplo, o creosoto; e preservativos hidrossolúveis compostos de sais de arsênio e boro (Déon, 1989).

Entre as essências folhosas a circulação da seiva bruta/elaborada é assegurada por células chamadas vasos, que se comunicam entre si, e a distribuição transversal pelos raios, que são constituídos por células horizontais. A estrutura anatômica varia muito entre as espécies, as madeiras leves têm mais oportunidades de se deixar impregnar que as madeiras densas, ou seja, quanto mais refratária à impregnação, mais difícil será sua preservação. A avaliação do preservativo no interior da madeira tem classificação que vai de madeira refratária, penetração nula, geralmente em espécies mais densas ocorrem este comportamento, a penetração total, madeira fácil de preservar (INPA/CPPF, 1991; Sales-Campos *et al.,* 2012).

Vários autores têm citado que a durabilidade da madeira está ligada às suas características físicas, mecânicas, anatômicas e principalmente químicas (Browning, 1963; Farmer, 1967). Jesus *et al.* (1998), estudando a durabilidade natural de madeiras da Amazônia, classificou as madeiras de *Andira parviflora*, *Buchenavia oxycarpa*, *Clarisia*

racemosa, Dipteryx odorata, Nectandra rubra, Peltogyne catingae e *Swartzia ingaefolia*, como altamente duráveis, enquanto que as espécies *Anacardium giganteum, Couratari guianensis* e *Parkia multijuga* foram classificadas em não duráveis.

Spear (1970) considera que madeiras resistentes são impalatáveis ou repelentes aos cupins. Sendo assim, madeiras que não possuem estas características devem ser evitadas em regiões de altos índices de infestações. Supriana (1985) destaca ainda que algumas espécies madeireiras apresentam um perfil diferenciado ao ataque de agentes deterioradores. Nessas espécies, a resistência natural é muito pronunciada devido à presença de substâncias químicas provenientes do metabolismo secundário (os extrativos), que muitas vezes são altamente tóxicos aos organismos xilófagos.

Os extrativos apresentam efeito atrativo ou repelente a microrganismos, insetos, ou plantas, e desempenham um importante papel, no âmbito da interação planta-ambiente, garantindo a sobrevivência das espécies no ecossistema (Maraschin e Verpoorte, 1999). Como característica geral, tais compostos mostram um padrão de ocorrência de substâncias em alguns grupos taxonômicos. Pode-se citar como exemplo as Fabaceae, que geralmente produzem isoflavonas e as Solanaceae, que produzem diterpenos (Pinto *et al.,* 2002), as Burseraceae com terpenos, lignanas e flavonóides que têm atividades fungicidas (Lima *et al.,* 2012). Além destas, as Rutaceae e as Meliaceae que têm sido estudadas por sua atividade inseticida atribuída a limonóides (Bueno *et al.,* 2001).

A impregnação de madeira de espécies suscetíveis a cupins com o látex de *Calotropis procera* reduziu o ataque destes em níveis semelhantes aos obtidos com o controle químico (Giridharb *et al.,* 1988). Extratos da madeira de *Aleurites fordil* foram testados frente a cupins *Reticulitermes flavipes*, e apresentou alto índice de toxicidade, provocando a morte dos cupins em 48 horas (Hutchins, 1997).

Trabalhando com artrópodes causadores de danos econômicos (pragas agrícolas) e de importância médica, AHN *et al.* (1998) determinaram ação inseticida e acaricida do composto cavracol, obtido de extratos de *Thujopsis dolabrata*. Ainda nesse trabalho, outro componente, a beta-tujaplicina, mostrou leve atividade inseticida a cupins. Na Tabela 1 são apresentadas algumas espécies florestais e suas respectivas substâncias tóxicas.

Tabela 1 - Componentes químicos de espécies arbóreas florestais.

Espécies Florestais	Compostos químicos
Afzelia sp.[1]	*Flavanóides*
Anacardium occidentale[2]	*Ácido anacárdico*
Catalpa bignonioides[5]	*Catalponol, Catalpalactone*
Cryptomeria japonica[3]	*Beta-eudesmol*
Dalbergia sp.[1]	*Chinon*
Derris sp.[4]	*Rotenóides*
Lonchocarpus sp.[4]	*Rotenóides*
Melia azedarach[2]	*Limonóides*
Taiwania cryptomerioides[6]	*Cedrol, Alfa-cadinol*

Fonte: 1 Santini (1988); 2 – Bueno *et al.* (2001); 3 - Sogabe *et al.* (2000); 4 – Simões *et al.* (2017); 5 - Mcdaniel (1992); 6 – Chang *et al.* (2001).

Organismos deterioradores da Classe Insecta

Os organismos deterioradores da classe Insecta engloba indivíduos de diversas ordens. Contudo, as mais importantes são os da ordem Isoptera (cupins) e Coleoptera (brocas), e com menor importância a Hymenoptera (vespas e formigas). A ordem Isoptera conta com mais de 2.000 espécies descritas, sendo que na região Neotropical ocorrem as famílias: Kalotermitidae, Termopsidae, Rhinotermitidae, Termitidae e Serritermitidae. Nas Américas, ocorrem 84 gêneros em 5 famílias com 514 espécies, sendo que no Brasil relatou-se a existência de 200 (Antunes *et al.,* 2016). Os gêneros *Coptotermes*, *Reticulitermes*, *Heterotermes* e *Nasutitermes* são agrupados entre as principais pragas que deterioram a madeira em várias regiões do Brasil (Souza *et al.,* 2018).

Os cupins existem há muito tempo. Foram encontrados restos de cupins fossilizados em formações que tinham 55 milhões de anos. Os cupins também são conhecidos como térmitas, que vem do latim "*tarmite*", que significa verme da madeira. Seu "trabalho" já era tão devastador, que os cidadãos daquela época consideravam que os exércitos de cupins eram como invasores vindo do céu, cujo o único propósito era "consumir e digerir seus lares". A palavra cupim tem origem na língua tupi, e designa tanto o inseto quanto sua habitação (Araújo, 1977).

Considerados como insetos sociais, os cupins formam colônias e possuem divisão de trabalho em castas, morfológica e funcionalmente diferentes. A população de cupins é, geralmente, constituída por três castas: operários, soldados e reprodutores. A menos que alguma doença ou predadores ataquem os cupins, os operários podem viver cerca de 3 a 5 anos e a rainha por um período muito maior. Para algumas espécies, as rainhas vivem até 50 anos e podem ovipositar milhares de ovos por dia (Eleotério, 2000; Souza *et al.,* 2018). Na figura 3 pode-se observar a diferença de casta entre indivíduos do gênero *Nasutitermes*.

Os térmitas possuem alimentação bastante variada entre as espécies e nem todas possuem hábitos xilófagos. Muitas espécies se alimentam de matéria orgânica em decomposição, madeiras deterioradas por fungos e outras são forrageiras ou cultivam fungos. Ao longo do tempo as construções dos térmitas têm evoluído passando por modificações contínuas. Devido a estas modificações, existem diversas formas intermediárias de ninhos, divididas em cinco categorias principais: ninhos dentro da madeira, ninhos subterrâneos, ninhos epígeos, ninhos arbóreos e inquilinismo (Eleotério, 2000).

Figura 3 - cupins do gênero *Nasutitermes: a – N. columbicus; b - N. glabritergus* e *c - N. corniger*

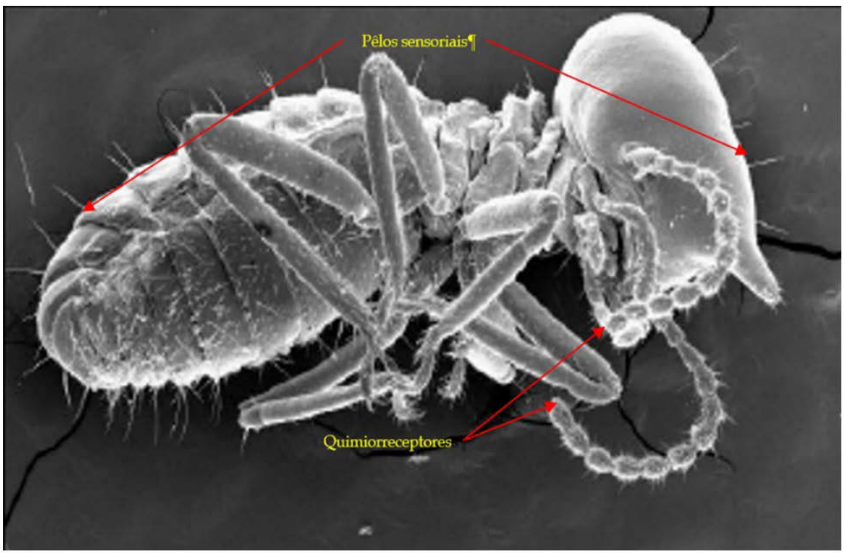
Fonte: http://www.naturalsciences.be.

Edwards e Mill (1986) afirmam que os cupins são os maiores causadores de danos econômico, é estimado que em todo o mundo são gastos mais de 2 bilhões de dólares em tratamentos curativos de edificações. Na região sul da Flórida os gastos com controle de cupins de madeira seca chegam a aproximadamente trinta milhões de dólares ao ano. No Brasil, estudos revelaram que somente na cidade de São Paulo, foram gastos 3,3 milhões de dólares no tratamento de 240 edificações (Lelis, 2000).

Em área urbana, de acordo com Fontes (1998), são considerados dois grupos de cupins: os que são benéficos e fazem parte da fauna autóctone nos grandes parques, reservas e jardins, sendo importantes para a manutenção da homeostase ambiental e os que ocasionam prejuízos econômicos pelos danos que causam no madeiramento das construções, visto que, de maneira geral, apenas são percebidos quando já houve comprometimento da estrutura das edificações. O autor acredita que o estabelecimento dos cupins nas cidades é devido à diminuição de áreas naturais, pela implementação de monoculturas, plantio de florestas de espécies introduzidas e ao alastramento das cidades, fazendo com que os cupins, em busca de alimento e refúgio, estabeleçam-se nas praças e construções dos grandes centros urbanos, onde algumas espécies tornam-se pragas importantes. São várias as causas que têm levado os cupins a terem sucesso em áreas urbanas sendo que a grande quantidade de áreas sombreadas, utilização de madeiras não resistentes e não tratadas quimicamente como material de construção, são alguns exemplos. De acordo com Lelis (2000), o conhecimento básico da diversidade e biologia dos térmitas é de fundamental importância para seu controle.

Segundo Araújo (1977), os cupins são fototrópicos negativos e, portanto vivem confinados no interior dos ninhos e, de maneira geral, não possuem olhos sendo que os quimiorreceptores, localizados nas extremidades das antenas em conjunto com pêlos sensoriais distribuídos pelo seu corpo, são os responsáveis pela percepção dos estímulos olfato e tato (figura 4). De acordo com o autor, os cupins também possuem sensilas nos palpos maxilares e labiais, e a importância da olfação é evidenciada pela detecção de alimento ou de outras substâncias pelas quais são repelidos quando nocivas.

Figura 4 - Imagem de microscópio eletrônico de varredura de soldado *Nasutitermes* sp.



Fonte: Eleotério, 2000.

METABÓLITOS SECUNDÁRIOS COM AÇÃO INSETICIDA

O uso de inseticidas representa gastos da ordem de bilhões de dólares, no esforço de controlar insetos. Tradicionalmente, os inseticidas mais usados tem os piretróides e os fosforados, seguidos dos organoclorados, que são atualmente empregados no controle de diversas pragas. Esses produtos têm, entretanto, um amplo espectro de atividade e exterminam indiscriminadamente os insetos considerados benéficos ao homem. Além disso, eles podem adquirir resistência a esses inseticidas, de tal forma que sempre haverá necessidade de aplicação de maiores quantidades, causando danos ecológicos e poluição do meio ambiente, por isso a necessidade de uma contínua busca de novos inseticidas (Simões *et al.,* 2017; Pereira *et al.,* 2018).

A necessidade de métodos mais seguros, no controle de insetos tem estimulado a busca de novos inseticidas de origem natural. As plantas têm sido uma importante fonte de substâncias naturais com diferentes estruturas químicas e com diversas atividades contra insetos. Plantas possuem suas próprias defesas, que as protegem de outras plantas, insetos, fungos e herbívoros predadores, de uma maneira geral. Estas defesas são de natureza química e, normalmente, envolvem substâncias do metabolismo secundário (Pinto *et al.,* 2002; Simões *et al.,* 2017). Rotas biossintéticas elaboradas, com elevados gastos de energia, conduz a hipótese mais aceita atualmente de que os vegetais consomem essa energia para sintetizar compostos necessários para sua sobrevivência e preservação. Esses produtos atuam primeiramente na defesa do vegetal, agindo como dissuasórios alimentares (fagorepelentes, desestimuladores) e como toxinas (Simões *et al.,* 2017).

As principais plantas das quais são obtidos compostos com atividades inseticidas pertencem às famílias Solanaceae, produtoras de nicotina e nornicotina; Fabaceae, produtoras de rotenóides; Asteraceae, de piretrina e as Meliaceas, produtora da azadiractina. A metilcaconitina obtida a partir de extratos da espécies *Delphinium geyeri* (Ranunculaceae), que é um alcalóide, apresentou atividade contra larvas de lepidópteros, sendo evidenciado sua atividade deterrente. Outro alcalóide com ação já observada é a estemofolina, que tem provocado sintomas de toxicidade e causando a morte em larvas do bicho-da-seda. Entretanto os alcalóides com ação bastante conhecida são a nicotina, nornicotina e a anabasina (Simões *et al.,* 2017).

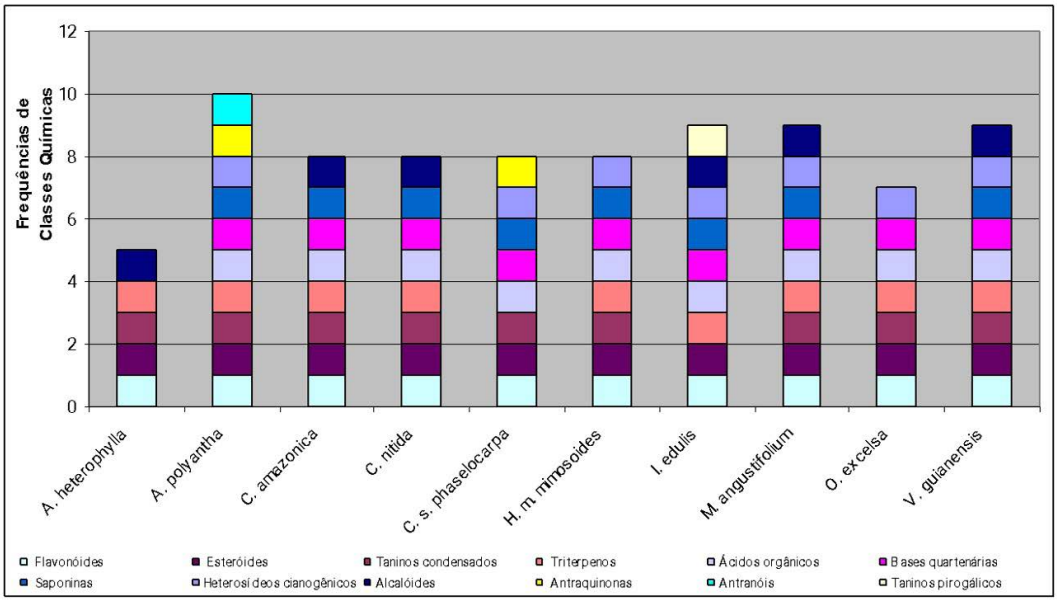
Atualmente, os piretróides são de todos os inseticidas em uso os que têm uma menor toxicidade a mamíferos e peixes e alta eficiência contra insetos. No mercado, este inseticida é encontrado na forma de líquido, aerossóis e cartuchos utilizados em aquecedores elétricos. Os terpenóides, em geral, apresentam características inseticidas, entre elas a de fagoinibição. Os limonóides são também conhecidos como meliacinas, apresentando atividades contra insetos, sejam interferindo no crescimento seja pela inibição de sua alimentação (Ray, 1991; Simões *et al.,* 2017). Atualmente, produtos comercializados com atividade fagoinibidora se encontram disponíveis como, por exemplo, Margosan-O nos EUA, que contém como substância ativa a azadiractina. Esta substância, interfere no funcionamento das glândulas endócrinas que controlam a metamorfose dos insetos, impedindo o desenvolvimento da ecdise, e apresentam ainda atividade fagoinibidora (Lee *et al.,* 1991).

Os rotenóides encontrados em várias espécies da família Fabaceae, já foram bastante utilizadas na agricultura, onde há relatos do combate a formigas saúvas na Guiana Holandesa e também no combate a infestação da mosca-do-mediterrâneo em pomares nos EUA. Estas substâncias são em geral fagoinibidoras em insetos. Os metabólitos secundários que ocorrem em espécies tropicais de Fabaceae arbóreas têm sido objetos de estudo, visando-se chegar a compostos com ação inseticida.

Os extrativos obtidos de Fabaceae são caracterizados pela presença de ácidos graxos, os terpenóides, esteróides, gomas e resinas, taninos, flavonóides, alcalóides. A pesquisa com relação à ocorrência dos flavonóides em Fabaceae têm sido bastante focalizada, devido esse grupo de plantas ser particularmente rico nesses compostos em comparação a outras famílias, que se passou a considerar os mesmos como seus marcadores taxonômicos (Hegnauer e Grayer-Barkmeijer, 1993; Barbosa *et al.,* 2006; Varejão *et al.,* 2012).

Diversa funções são atribuídas aos flavanóides nas plantas, dentre elas podem-se citar: proteção dos vegetais contra incidência de raios ultravioletas e visível, além de proteção contra insetos e fungos, vírus e bactérias, atração animal com finalidade de polinização, atividades oxidantes, controle de ação de hormônios nos vegetais, agentes alelopáticos e inibidores de enzimas (Harbone, 1999). As classes químicas dos extrativos presentes na casca de Fabaceae da Amazônia podem ser observadas no gráfico 1.

Gráfico 1 - Classe de compostos detectados em Fabaceae arbóreas.



Fonte: Barbosa *et al.* 2006.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

O material utilizado nos estudos foram cascas de Fabaceae coletadas em áreas do Arquipélago das Anavilhanas e da foz do rio Jaú/rio Carabinani (Lat. 1-3° S, Long. 60-62° W), estado do Amazonas/Brasil. As cascas foram coletadas no mínimo de três árvores de

cada espécie, aleatoriamente, assim como amostras do lenho, para identificação anatômica. Após a coleta, o material foi colocado para secar ao ar livre, por 48 horas, acondicionado em sacos e posteriormente transportados para o Laboratório de Química da Madeira (CPPF/INPA/Brasil). Em seguida, foi dada a sequência de preparação de serragem da seguinte forma: picotamento, para a obtenção de cavacos; moagem para obtenção de serragem; e peneiramento com conjunto de peneiras de malhas 20, 40, 60, 80 mesh, montadas nesta ordem. Esse material foi acondicionado em sacos plásticos e armazenado apropriadamente. As espécies estudadas estão listadas na tabela 2.

Tabela 2 - Espécies florestais de Fabaceae da Amazônia Central/Brasil.

Nome popular	Identificação científica	Nome popular	Identificação científica
Acapurana	*Campsiandra chigo montero*	Ingarana-da-varzéa	*Albizia polyantha*
Arabá	*Swartzia polyphylla*	Lombrigueiro	*Crudia amazonica*
Arapari	*Macrolobium angustifolium*	Macucu-de-paca	*Aldina heterophylla*
Bico de arara	*Parkia discolor*	Paracaxi	*Pentaclethra macroloba*
Castanha de burro	*Cynometra spruceana phaselo-carpa*	Saboarana	*Swartzia laevicarpa*
Faveira	*Swartzia macrocarpa*	Taboarana	*Acosmium nitens*
Faveira-do-igapó	*Albizia subdimidiata*	Tachi-preto	*Tachigali paniculata*
Haiari	*Heterostemom mimosoides mimo-soides*	Tento amarelo	*Ormosia excelsa*
Ingá	*Inga dischica*	Acapu-do-igapó	*Swartzia argentea*

Fonte: autor

Métodos

O desenvolvimento dos estudos foram fundamentados em diversas etapas, discriminadas a seguir.

Determinação dos constituintes básicos da casca

Nos materiais obtidos das casca (serragem a 80 mesh) foram efetuados diversos testes, de acordo com metodologia específica para cada determinação:

Preparação da Madeira livre de extrativos (ASTM D1107-56 e D1110- 56)

Para a preparação do material livre de extrativos foram utilizados 5 g de serragem, e postas para extrair em aparelhagem Soxhlet (CGA Corporation, Cat. 65500), à quente, utilizando-se solventes apropriados, por cerca de 8 h. Logo após, os extrativos foram concentrados, secos e pesados no próprio balão até o peso constante. Finalizando o processo, a determinação dos extrativos solúveis em água foi efetuada, em banho-maria a 100 ºC (Blue M, Constant Temperature Water Bath, Mod. 1130A-1), por 4 h. O material remanescente foi seco em estufa a 100 ± 3 ºC (Fanem, Mod. 315 SE), e pesado até peso constante. Ao final, o teor de extrativos (TE) contido na casca foi calculado a partir da equação:

$$\textbf{TE \%} = (P_f - P_i)/P_s \times 100$$

Onde: Pi = Peso do balão seco inicial; P_f = Peso do balão com extrativos; Ps = Peso da amostra seca

Determinação da Lignina (ASTM D1106-56)

Do material livre de extrativos, inicia-se o processo de tratamento da serragem (2 g) com 15 mL de H_2SO_4 72%. Esse material foi deixado em contato com o ácido por 2 h, e então colocado em banho-maria a 100 ºC por 4 h, para o processo de digestão. Após, é lavado com água quente, filtrado, seco em estufa a 100 ± 3 ºC, sendo posteriormente pesado e calculado o teor de lignina. A percentagem de lignina na casca foi determinada através da fórmula a seguir:

$$\textbf{Lignina \%} = (P_2/P_1) \times 100$$

Onde: P_1= Peso seco inicial da amostra; P_2= Peso seco da lignina obtida

Determinação do teor de Taninos e outros polifenóis presentes na casca (Vetter e Barbosa, 1995)

Para o procedimento das análises, foram preparadas soluções extrativas a partir da serragem das cascas. Primeiramente, 2 g de material da casca foram refluxados com água (100 mL) em banho-maria a 90 ºC, durante 1 h. Em seguida, o extrato foi filtrado e reservado, e os resíduos da casca foram levados novamente para extrair por mais 1 h. Após, o material foi novamente filtrado e acrescentado à primeira fração extrativa, diluindo-se então para uma solução extrativa final de 500 mL (solução-mãe). A seguir, foi executado o seguinte teste:

Um volume de 100 mL da solução-mãe foi colocado em balão e foram adicionados 10 mL de formaldeído 40% (volume/volume) e 5 mL de HCl (conc.). O sistema foi colocado sob refluxo em banho-maria, por 30 minutos, segundo o método de Stiasny para determinação de taninos. Obteve-se ao final um precipitado sólido, de cor marrom, que foi filtrado, lavado com água, seco em estufa e pesado. Esse material é referido como “Número de precipitado em formaldeído”, e indica os compostos polifenólicos aptos a reagir com formaldeído, além de fornecer o teor de polifenólicos na casca.

Obtenção dos extrativos e impregnação de amostras para os testes biológicos

Das serragens obtidas das cascas das espécies em estudo pesou-se 250 g aproximadamente, no qual foi realizada a obtenção de extrativos a frio, através de sucessivas extrações com etanol P.A., em frasco Mariotti. A extração foi executada tantas vezes quanto necessário, até que o solvente ficasse incolor. Logo após, o etanol foi evaporado em rotavapor a 50 ºC, sob vácuo, e o material restante foi levado à estufa (70 °C), e em seguida, pesado e acondicionado apropriadamente.

Nesse material, foram realizados testes de solubilidade em água, mistura água-etanol e etanol, para determinação do limite de solubilidade dos mesmos. A seguir, foram preparadas as soluções extrativas alcoólicas (1%) para a impregnação das amostras.

Como testes preliminares para observação do potencial inseticida/repelente dos extrativos das espécies estudadas, foram utilizados discos de papel de filtro (Whatman® mod.4, 5,5 cm) que foram tratados com as soluções extrativas alcoólicas (1%). O papel tratado foi posto para secar em estufa a 60 ºC, e pesado ao final. A seguir, foram avaliados em teste biológico.

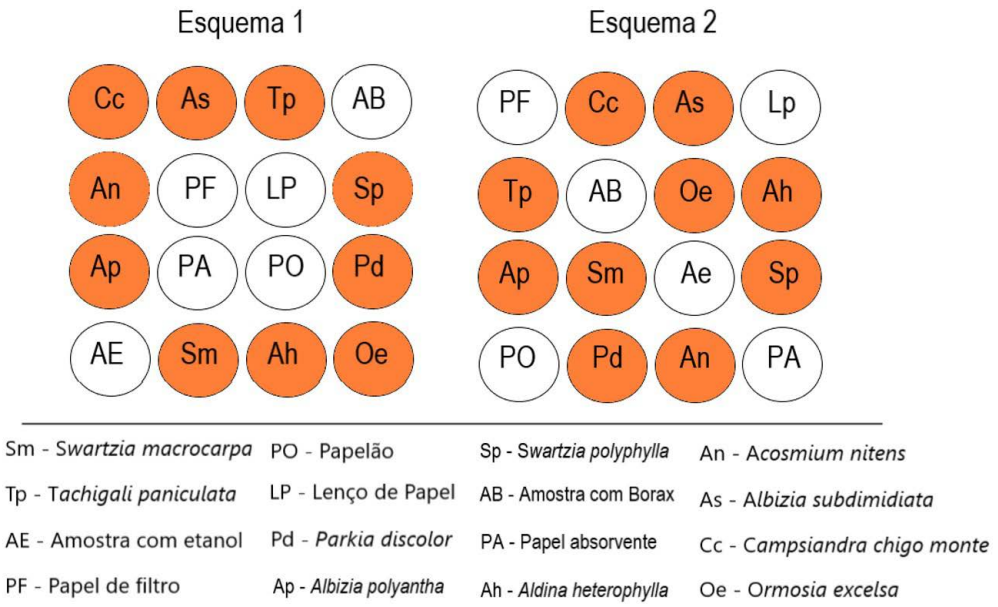
Foram utilizados dois tipos de amostras-testemunha: 1 - sem impregnação (discos de papel de filtro, de lenço de papel, de papel absorvente e papelão); e 2 - com impregnação (disco de papel com etanol). Também foi utilizado uma amostra contendo o preservativo base de bórax 2% ($Na_2B_4O_7 . 10H_2O$).

Testes Biológicos

Foram realizadas excursões a campo para coleta de colônias de cupins do gênero *Nasutitermes*. No total 06 colônias foram coletadas, em diferentes locais: Lago do Puraquequara/Manaus - zona leste - (02) colônias; e as demais no Campus do INPA I/Manaus (04). Estas colônias foram transportadas para o pátio da CPPF/INPA, e armazenadas em caixas BRASILIT®, preenchidas com água para retenção dos cupins. A reação dos cupins foi observada neste período, como por exemplo atração/repelência do tipo de alimentação, estratégias de ataque, mortalidade, etc.

Em uma plataforma de concreto, dentro da caixa d'água, foram dispostas as amostras tratadas (papel de filtro) com extratos obtidos das cascas das espécies *Acosmium nitens*, *Albizia polyantha*, *Albizia subdimidiata*, *Aldina heterophylla*, *Campsiandra chigo montero*, *Ormosia excelsa*, *Parkia discolor*, *Swartzia macrocarpa*, *Swartzia polyphylla* e *Tachigali paniculata*. As amostras foram montadas, e expostas aos cupins, em testes com preferência alimentar conforme o esquema de distribuição mostrado na figura 5. Observa-se que houve uma mudança de localização das amostras (Esquema 1) após 10 dias do início dos testes, ficando como no Esquema 2 até o final do ensaio.

Figura 5 - Esquema de distribuição das amostras em teste de preferência alimentar.



Fonte: autor.

O tempo total do teste foi de 21 dias, quando as amostras-testemunha apresentaram perda de massa de aproximadamente 100%. O dano causado pelos cupins as amostras em estudo, foi classificado por meio da perda de massa (PP), utilizando-se o peso inicial da amostra - Pi (peso do papel de filtro impregnado) e peso final - Pf, conforme equação abaixo. Os resultados encontrados foram classificados segundo os intervalos mostrados na tabela 3.

$$PP = (Pi - Pf) / Pi \times 100$$

Tabela 3 - Classificação da perda de massa, de acordo com critério estabelecido pela ASTM D2017-78.

Perda de massa (%)	Classificação quanto à toxidez dos extrativos
0 - 10	Altamente tóxico
11 - 24	Tóxico
25 - 44	Toxidez moderada
45 <	Pouco ou não tóxico

Fonte: autor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A madeira está sujeita à degradação por organismos que dela se alimentam, os quais encontram no seu lenho muitas substâncias de teor nutritivo, como açúcares, gomas e amidos, que constituem a base alimentar de várias espécies de fungos e cupins (Paes *et al.,* 2002). Entretanto, certas espécies apresentam resistência a estes organismos, por possuírem sistema de defesa, sintetizando substâncias capazes de protegê-las (Morais *et al.,* 2012). Essas substâncias estão presentes nos extrativos, onde são encontrados compostos ou grupamento químicos que apresentam características tóxicas ou repelentes, como taninos, alcalóides, terpenos, flavonoides e etc. (Simões *et al.,* 2017; Nascimento *et al.,* 2023).

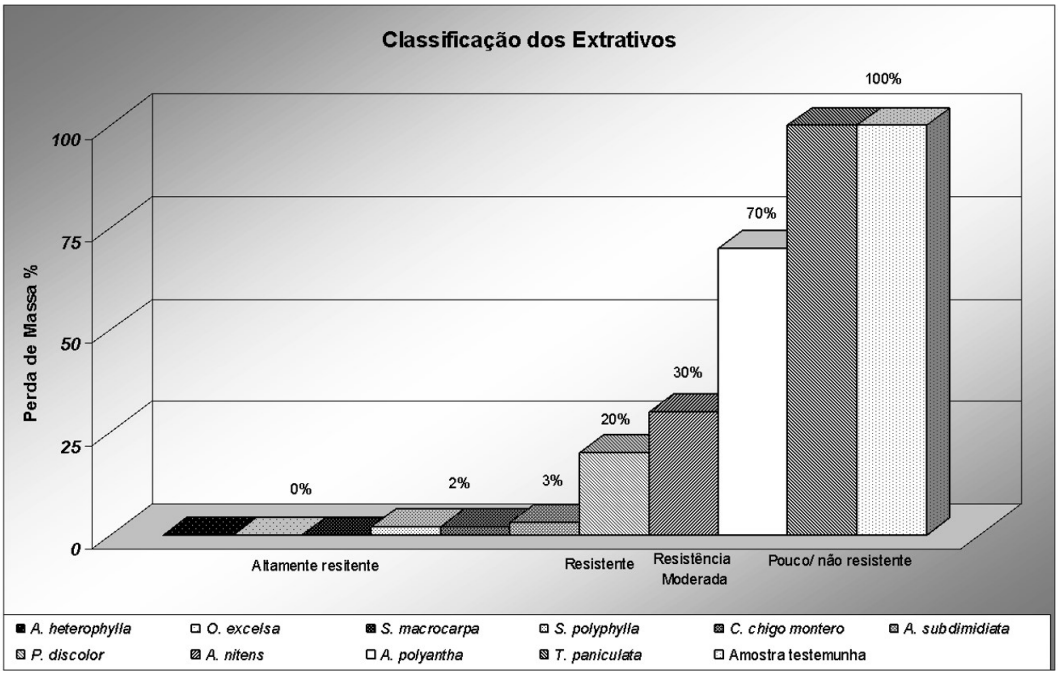
Nesta pesquisa, foram examinados alguns efeitos de compostos presentes nos extrativos da casca de Fabaceae arbóreas da Amazônia Central. Impregnados em amostras tratadas de papel-de-filtro quanto a forma de alimentação de cupins *Nasutitermes* spp., em bioensaios em laboratório. Como resultados, pode-se observar que as amostras de papel que continham extrativos de *Swartzia. Macrocarpa* (Faveira), *Ormosia excelsa* (Tento amarelo) e *Aldina heterophylla* (Macucu-de-paca) não sofreram qualquer dano, o que pode inferir que conferirá uma alta resistência às amostras no período de 21 dias de testes, onde as amostras-testemunha sem impregnação, foram 100% atacadas e degradadas.

Enquanto, as amostra de *Swartzia polyphylla* (Arabá), *Albizia subdimidiata* (Faveira-do-igapó) e *Campsiandra chigo montero* (Acapurana) sofreram ataques superficiais mas foram logo abandonadas. As amostras de *Parkia discolor* (Bico de arara), *Acosmiun nitens* (Taboarana), *Albizia polyantha* (Ingarana-da-varzéa) e *Tachigali paniculata* (Tachi-preto) foram atacadas e, sofreram perda de massa de 20, 30, 70 e 100% respectivamente. Entretanto, vale ressaltar que estas amostras que sofreram as maiores perdas, tiveram suas concentrações alteradas, em virtude de no 16° dia de teste, estas amostras caíram da plataforma de concreto onde estava sendo realizado os testes dentro d'água. Sendo assim

as substâncias impregnadas, removidas através da solubilidade no meio aquoso. Inferindo que se as tais amostras não tivessem suas concentrações alteradas, possivelmente confeririam resistência ao papel testado, pois durante mais de 60% do tempo de exposição não foram observados ataques significativos nas amostras. Na gráfico 2, pode-se observar a avaliação da perda de massa das amostras (papel de filtro).

Considerando que os extratos em etanol, como os utilizados nestes estudos, contêm taninos condensados, flavanóides, terpenos e alcalóide (Fengel e Wegener, 2003; Nascimento *et al.,* 2019), pode-se observar que os extratos brutos ensaiados apresentaram propriedades de repelência a cupins *Nasutitermes* sp., em virtude da alta resistência conferidos ao papel testado. A resistência oferecida em testes biológicos segundo alguns autores é atribuída ao cheiro ativo, exalado por certas substâncias presentes nos extrativos, provocando assim, um certo desinteresse pelas amostras. Outra característica destes grupamentos químicos são o gosto desagradável ao paladar dos cupins, ou ainda funcionando como veneno para o protozoário e/ou bactérias existente no trato intestinal desses organismos, e/ou ainda como veneno sistêmico para o cupim (Supriana, 1985; Morais *et al.,* 2012).

Gráfico 2 - Relação da perda de massa do papel de filtro e classificação quanto à toxicidade oferecida pelo extrativo.



Fonte: autor.

De acordo com dados de estudos anteriores, o perfil químico apresentado pelas Fabaceae estudadas é caracterizado pela presença de flavonóides, terpenóides, esteróides, taninos, alcalóides e outros compostos (Barbosa *et al.,* 2006; Varejão *et al.,* 2012).

A fim de entender certos mecanismos de ataque dos cupins, as amostras testadas (papel de filtro), foram distribuídas duas formas de arrumação (esquema 1 e 2), como mostrado na figura 5. Observou-se que no esquema 1, a disposição das amostras tratadas, implicaram em uma barreira química (efeito repelente) aos cupins, ou seja, os térmitas encontraram dificuldades de chegar as amostras testemunhas (sem impregnação), que

se localizavam no centro do esquema, pois possivelmente o odor das amostras tratadas que estavam dispostas na região externa do esquema, era muito ativo. Foi verificado ainda que algumas amostras sofreram ataques superficiais mas foram logo desprezadas. Já no esquema 2, quando houve uma rearrumação das amostras, foi percebido que os cupins procuraram novamente as amostras, iniciando o ataque das amostras testemunhas que encontravam-se localizadas nas laterais do esquema. Segundo Lelis (2000), o conhecimento básico da diversidade e biologia dos térmitas é de fundamental importância para seu controle.

Corpos-de-provas (sem tratamento) de *Simarouba amara* (marupá) foram também testados quanto à durabilidade natural desta espécie frente a organismos xilófagos. Foi confirmada a baixa resistência desta madeira aos térmitas, uma vez que durante os testes, foi observado que 06 corpos-de-provas (3,0 x 1,5 x 1,5 cm) colocados em cada colônia, foram degradados por completos (100%) num período de 10 dias, sendo assim o consumo de madeira por cada colônia em média de 1,53 g/dia. Este comportamento foi observado nas colônias maiores e com maior atividade. Na Figura 6 pode ser observado degradação dos corpos-de-provas de *S. amara* num período de 7 dias de exposição.

Figura 6 - Corpos de provas expostos num período de 7 dias ao ataque de cupins *Nasutitermes* spp.

Fonte: autor.

Um grande número de espécies madeireiras já foram estudadas do ponto de vista fitoquímico e em menor escala quanto à durabilidade natural, no entanto, estes estudos ainda estão dispersos e concentrados na área de fitoquímica ou de tecnologia de madeiras. Dados fitoquímicos, informações gerais das espécies e características da durabilidade natural, são escassos e/ou bastante restritos, principalmente em relação a espécies amazônicas. Estas Informações são bastante importantes para se traçar um melhor perfil tecnológico das espécies, tanto para a área científica como para a área industrial. As características tecnológicas de madeiras amazônicas vêm sendo determinadas pela Coordenação de Pesquisas de Produtos Florestais (CPPF/INPA), visando o conhecimento técnico-científico do processamento, da aplicabilidade e da comercialização destas madeiras. Dentre estas características, a durabilidade natural da madeira permite avaliar a vida útil e a susceptibilidade a organismos xilófagos.

Em composição química, as cascas diferem da madeira pela presença de polifenóis e suberinas, pelo teor menor em polissacarídeos, e alto conteúdo de extrativos. Os teores

dos Extrativos e Lignina presentes nas cascas das espécies estudadas são apresentados na tabela 4. A espécie *P. macroloba* apresentou o maior teor de substâncias extraídas em etanol (23,6%), seguida das espécies *T. paniculata* (18,1%) e *A. subdimidiata* (14,1%) que apresentaram valores também bastante expressivos. Entretanto as espécies *S. laevicarpa* e *S. argentea* obteram os menores teores de extrativos neste solvente (1,6 e 1,7% respectivamente).

Os extrativos solúveis em água são compostos de sais, amidos, açucares simples, polissacarídeos e substâncias fenólicas (Cunha *et al.,* 2002; Rowell, 2012). As espécies *A. subdimidiata*, *C. amazonica* e *A. polyantha* apresentaram maior índice de material solúvel em água: 30,9%, 29,7% e 26,7% respectivamente. Mais de 60% das espécies estudadas apresentaram alto teor de solubilidade em água, que variou de 15 a 30%. Contudo a espécie *A. heterophylla* apresentou um dos mais baixos teores de extrativos aquosos 6,3% (tabela 4).

Tabela 4 - Resultados dos teores de Extrativos e Lignina na casca de Fabaceae.

Espécies	Umidade (%)	Extrativos (%)		Lignina (%)
		Etanol	Água	
Albizia polyantha	15,6	12,8	26,7	32,3
Albizia subdimidiata	19,0	14,1	30,9	29,5
Aldina heterophylla	13,0	7,8	6,3	34,0
Campsiandra chigo montero	14,5	3,0	18,5	36,2
Crudia amazonica	15,5	13,2	29,7	35,4
Cynometra s. phaselocarpa	15,0	11,8	24,1	36,1
Heterostemom m. mimosoides	16,3	8,8	15,8	32,0
Inga dischica	17,6	6,8	17,0	36,8
Macrolobium angustifolium	19,9	12,4	13,1	33,2
Ormosia excelsa	14,2	9,9	9,3	38,3
Pentaclethra macroloba	17,7	23,6	22,5	29,8
Swartzia argentea	9,9	1,6	13,1	28,3
Swartzia laevicarpa	13,7	1,7	8,4	33,7
Swartzia macrocarpa	13,2	3,8	13,8	27,9
Swartzia polyphylla	15,4	3,3	20,1	30,2
Tachigali paniculata	17,0	18,1	25,9	33,5

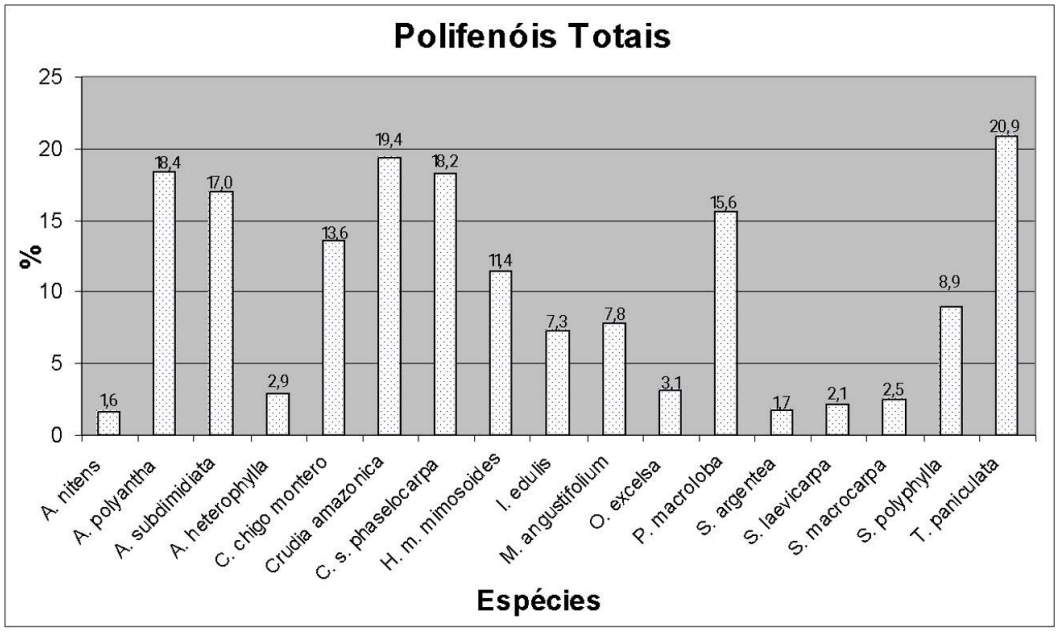
Fonte: Cunha *et al.* 2002; Rowell, 2012.

O índice de polifenóis presentes nas cascas das espécies estudadas são bem expressivo (gráfico 3), ressaltando as espécies *T. paniculata* (20,9%), *C. amazonica* (19,4%) e *A. polyantha* (18,4%). Enquanto que *A. nitens* (1,6%), *S. argentea* (1,7%) e *S. laevicarpa* (2,1%), apresentaram o menor índice de polifenóis.

Testando extratos etanólicos frente a fungos apodrecedores de madeira Hanada *et al.* (2012), observou em seus ensaios que os extratos obtidos das cascas das espécies *C. amazonica* e *M. angustifolium* apresentaram atividade inibidora a tais fungos, sendo que estas espécies apresentam índices significativos de polifenóis totais de 19,4% e 19,9%, respectivamente. Sendo assim a presença desses compostos nas Fabaceae estudadas vem a ser particularmente importante, pois os fenóis e flavonóides possuem a habilidade de resistir à degradação causada por vírus e fungos (Yatagai e Takahashi, 1980; Zhong-Luh,

1981; Pierrot *et al.,* 2022).

Gráfico 3 - Teores de polifenóis totais das cascas de Fabaceae florestais.



Fonte: Hanada *et al.* 2012.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos realizados permitem concluir que os resultados obtidos para as condições estudadas foram os seguintes:

- Os extrativos obtidos da cascas de Fabaceae *Swartzia macrocarpa* (Faveira), *Ormosia excelsa* (Tento amarelo), *Aldina heterophylla* (Macucu-de-paca), *Swartzia polyphylla* (Arabá), *Albizia subdimidiata* (Faveira-do-igapó) e *Campsiandra chigo montero* (Acapurana), apresentam propriedades de repelência a cupins *Nasutitermes* spp., em testes de laboratório. Contudo, ensaios mais específicos serão desenvolvidos para evolução deste estudo.

- As espécies *Pentaclethra macroloba* (Paracaxi), e *A. subidimidiata* apresentaram maiores teores de extrativos alcoólicos. Enquanto que *Crudia amazonica* (Lombrigueiro) e *Albizia polyantha* (Ingarana-da-varzéa) os maiores índices de polifenóis totais, sendo que a espécie *Tachigali paniculata* (Tachi-preto) apresentou altos índices tanto de polifenóis totais quanto extrativos alcoólicos.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO RL. **Catálogo dos Isoptera do novo mundo**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 1977.

AHN YJ, LEE SB, LEE HS, *et al.* Insecticidal and acaricidal activity of cavracol and beta-thujaplicine derived from *Thojopsis dolobrata* var. Hondai sandust**. Journal of Chemical Ecology**, 24(1): 81-90, 1998.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS**. Annual book of ASTM standards**, ASTM, Wood and Adhesives, Philadelphia/Pa, 1981.

ANTUNES LR, JUNQUEIRA LR, MENDES JEP, *et al.* Derrogação para uso de Fipronil em florestas certificadas FSC no Brasil. **Documentos Técnicos** IPEF, 3(3): 1-23, 2016.

BARBOSA AP, PALMEIRA RCF, NASCIMENTO CS, *et al.* Leguminosas florestais da Amazônia Central. I. Prospecção das classes de compostos presentes na casca de espécies arbóreas**.** **Fitos**, 1: 47-57, 2006.

BARBOSA AP, NASCIMENTO CS, MORAES JW. Estudos de propriedades antitermíticas de extratos brutos de madeira e casca de espécies florestais da Amazônia Central, Brasil. **Acta Amazonica**, 37: 213-218. 2007.

BRAGA MR, YOUNG MCM, DIETRICH SMC, *et al.* Phytoalexin induction in Rubiaceae. **Journal of Chemical Ecology**, 17: 1079-1090, 1991.

BROWNING BL. **The Chemistry of Wood**. Interscience publishers, a division of John Wiley & Sons, New York, 1963.

BUENO OC, COSTA-LEONARDO AM, CAMARGO-DIETRICH CRR, *et al.* . Controle biorracional de cupins em postes de madeira. In: **I CITENEL**, 6 –7/novembro, Brasília/DF, 4p. 2001.

CABRERA RR, LELIS AT, BERTI FILHO E. Ação de extratos das madeiras de Ipê (*Tabebuia* sp., Bignoniaceae) e de Itaúba (*Melizaurus* sp., Lauraceae) sobre o cupim-de-madeira-seca *Cryptotermes brevis* (Isoptera, Kalotermitidae). **Arquivos do Instituto Biológico**, 68(1): 103-106, 2001.

CARDIAS MFC, JESUS MA, FRANKLIN E. Biodeterioração de Toras "In situ**"**. **Série Técnica do Centro de Pesquisas de Produtos Florestais/INPA**, 12: 1 - 19, 1985.

CARVALHO DE, BROCHINI GG, LOIOLA PL, *et al.* Preservantes de madeira. In: CASTRO VG, GUIMARÃES PP. (eds). **Deterioração e preservação da madeira**. EdUFERSA, Mossoró, 135-150, 2018.

CASTRO VG, GUIMARÃES PP. **Deterioração e preservação da madeira**. EdUFERSA, Mossoró, 2018.

CAVALCANTE CM, VAREJÃO MJC, CRUZ IA. **Poder calorífico de casca e madeira de espécies de *Eperua*: *E. falcata* Aubl., *E. leucantha* Benth., *E. purpurea* Benth. e *E. schomburgkiana* Benth**. I Congresso de Iniciação Científica PIBIC/CNPq - PAIC/FAPEAM. INPA, Manaus, 2012.

CHANG ST, CHENG SS, WANG SY. Antitermitic activity of essential oils components from Taiwania (*Taiwania cryptomerioides*). **Journal of Chemical Ecology**, 27 (4): 717-724, 2001.

CUNHA MPSC. **Estudo fitoquímico de *Clarisia racemosa***. Rio de Janeiro/RJ, 133 p., Dissertação (Mestrado), Instituto de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.

CUNHA MPSC, CRUZ IA, BARBOSA APR, *et al.* **Composição química da madeira**. CPPF/INPA, Manaus, 2002.

DÉON G. **Manual de preservação da madeira em clima tropical**. Série Técnica 3, ITTO, Paris. 1989.

EDWARDS R, MILL AE. **Termites in buildings: Their biology and control**. Rentokil, Felcourt, 1986.

ELEOTÉRIO ESR. **Levantamento e identificação de cupins (Insecta: Isoptera) em áreas urbanas de Piracicaba, São Paulo**. Dissertação de Mestrado, 102 p. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/USP. Piracicaba, 2000.

FARME RH. **Chemistry in utilization of Wood**. Vol. 9, Pergamon Press, New York, 1967.

FENGEL D, WEGENER G. **Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions.** Berlin, Walter de Gruyter, 2003.

FONTES LR. Considerações sobre a complexidade da interação entre o cupim subterrâneo, Coptotermes havilandi, e a arborização no ambiente urbano. In: FONTES LR, BERTI FILHO E (eds). **Cupins: O desafio do conhecimento**. FEALQ, Piracicaba, p. 109 – 124, 1998.

GIRIDHAR G, SANTOS H, VASUDEVAN P. Antitermites of *Calotropis latex*. **Pesticides**, 22(1): 31-33, 1988.

HANADA RE, BARBOSA APR, LIMA MP, *et al.* Toxicidade de extrativos de leguminosas florestais da Amazônia central a fungos apodrecedores de madeira (Hymenomycetes). In: Vianez *et al.* (org.) **Potencial tecnológico de madeiras florestais da Amazônia Central**. INPA, Manaus, p. 111-121. 2012.

HARBORNE JB. The comparative biochemistry of phytoalexin induction in plants. **Biochemical, Systematics and Ecology**, 27: 335-367, 1999.

HEGNAUER R; GRAYER-BARKMEIJER RJ. **Review Article number 80**: Relevance of seed polysaccharides and flavonoids for the classification of the Leguminosae a chemotaxonomic approach. Phytochemistry, 44(1): 3 – 16, 1993.

HUTCHINS RA. Evaluation of the natural antitermitic properties of *Aleurites fordii* (tung tree) extracts. **Journal of the Mississippi Academy of Sciences**, 42(3):167-172, 1997.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA/CPPF. **Catálogo de madeiras da Amazônia**. INPA, Manaus, 1991.

JESUS MA, MORAIS JW, ABREU RLS, *et al.* Natural durability of 46 amazonian woods species in an in-ground essay in a forest environment. **Scientia Forestal**, 54 (1): 81–91, 1998),

KOLLMANN FFP, CÔTÉ Jr. WA **Principles of Wood Science and Technology**. **I. Solid Wood**. Springer-verlag, Berlim, 1968.

LEE SM, KLOCKE JA, BARNABI MA. Insecticidal constituents of *Azadirachta indica* and *Melia azedarach* (Meliaceae). In: Hedin, P.H. (ed.). **Naturally occurring pest bioregulators**, ACS Symposium series 449, Washington, p. 293-320, 1991.

LELIS AT. **Insetos deterioradores de madeira no meio urbano**. Série Técnica IPEF, 13(33): 81-90, 2000.

LIMA MP, HANADA RE, FERNANDES CS, *et al.* Efeito in vitro de extratos vegetais e óleos essenciais nos fungos xilófagos *Lenzites trabea, Pycnoporus sanguineus e Polyporus fumosos*. In: Vianez *et al.* (org.) **Potencial tecnológico de madeiras florestais da Amazônia Central**. INPA, Manaus, p. 121-129, 2012.

LIMA NETO GA, KAFFASHIW T, LUIZ WR, *et al.* **Quantificação de metabólitos secundários e avaliação da atividade antimicrobiana e antioxidante de algumas plantas selecionadas do Cerrado de Mato Grosso**. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, 17(4 suppl 3): 1069-1077, 2015.

MARASCHIN M, VERPOORTE R. Engenharia do metabolismo secundário. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**, 10: 24-28, 1999.

MCDANIEL CA. **Major Antitermitic Components of the Heartwood of Southern Catalpa**. Journal of Chemical Ecology, 18(3): 359-369, 1992.

MORAIS JW, SILVA EP, NASCIMENTO CS, *et al.* Bioatividade de extratos de três espécies florestais da Amazônia a *Cryptotermes brevis* (Walker) (Isoptera: Kalotermitidae). In: Vianez *et al.* (org.) **Potencial tecnológico de madeiras florestais da Amazônia Central**. INPA, Manaus, p. 89-101. 2012.

NAHUZ AR. **Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil**. IPT, São Paulo, 2013.

NASCIMENTO MS, SANTANA ALB, MARANHÃO CA, *et al.* Phenolic extractives and natural resistance of wood [Internet]. In: **Biodegradation - Life of Science**. InTech; 2013. Available from: http://dx.doi.org/10.5772/56358

NASCIMENTO CS, VIANEZ BF. Estudo da eficiência da barreira de areia contra cupins *Nasutitermes macrocephalus* (Isoptera:Termitidae). In: Vianez *et al.* (org.) **Potencial tecnológico de madeiras florestais da Amazônia Central**. INPA, Manaus, p. 155 -163. 2012.

NASCIMENTO CS, NASCIMENTO CC, HIGUCHI N, *et al.* **Exploring chemical compounds in extracts of *Eschweilera coriacea* and *E. truncata***. Pesquisa Florestal Brasileira, 39: 434-434. 2019.

NASCIMENTO CS, CRUZ IA, NASCIMENTO CC, *et al.* **Technological properties of wood from small diameter in an area of forest exploitation of reduced impact in the tropical forest.** European Journal of Forest Research, 142(3): 1-15, 2023.

PAES JB, MORAIS VM, SOBRINHO DWF, *et al.* **Resistência natural de nove madeiras do Semi-Árido brasileiro a cupins subterrâneos, em ensaio de laboratório**. Cerne, 9(1): 37-49, 2003.

PAES JB, SOBRINHO DWF, SOUSA NMN, *et al.* **Resistência natural de seis madeiras de ocorrência na região Amazônica a cupins subterrâneos em ensaios de alimentação forçada**. VIII –EBRAMEM, Uberlândia/MG, 2002.

PEREIRA KTO, GUIMARÃES PP, AZAMBUJA RR, *et al.* Técnicas construtivas para proteção da madeira. In: CASTRO VG, GUIMARÃES PP. (eds). **Deterioração e preservação da madeira**. EdUFERSA, Mossoró, 179 - 200, 2018.

PIERROT, LM, MORAIS JW, GODOY BS, *et al.* **Effect of extracts of two Amazonian Fabaceae on *Cryptotermes brevis* (Walker) (Isoptera: Kalotermitidae)**. Bioassay, 15: ba15001, 2022.

PINTO AC, BOLZANI VS, SILVA DHS, *et al.* **Produtos Naturais**: Atualidades, desafios e perspectivas. Química Nova, 25(Supl.): 45-61, 2002.

RAY DE. Pesticides derived from plants and other organisms. In: Hayes Jr. WJ; Law Jr. ER (eds.). **Classes Pesticides**. Academic, New York, 1991.

ROWELL RM. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. CRC Press, Boca Raton, 2012.

SALES-CAMPOS C, VIANEZ BF, SANTOS EC, *et al.* Estudo da tratabilidade química de rolos-resto gerados pelas indústrias de compensado no estado do Amazonas. In: Vianez *et al.* (org.) **Potencial tecnológico de madeiras florestais da Amazônia Central**. INPA, Manaus, p. 165 -174. 2012.

SANTINI E J. **Biodeterioração e preservação da madeira**. CEPEF/FATEC, Santa Maria, 1988.

SILVA AC, SILVA MBC. **Influência da anatomia e química nas propriedades da madeira**, CEPEF/UTAM, Manaus, 1991.

SIMÕES CMO, SCHENKEL EPG, MELLO JCP, *et al.* 2017. **Farmacognosia: do produto natural ao medicamento**. Artmed, Porto Alegre.

SJÖSTRÖM E. **Wood chemistry. Fundamentals and applications** (2nd edn). Academic Press, Espoo, 2013

SOBOL Ł, SABAT D, DYJAKON A. Assessment of bark properties from various tree species in terms of its hydrophobicity and energy suitability. **Energies** 16: 6586, 2023.

SOGABE A, KINJO K, ABE F, *et al.* Termicidal substances from the heartwood of *Cryptomeria japonica* D. Don. **Mokuzai Gakkaishi**, 46 (2): 124-131, 2000.

SOUZA GO, ROCHA MP, DIAS PC, *et al.* Insetos: Ordem Isoptera. In: CASTRO VG, GUIMARÃES PP. (eds). **Deterioração e preservação da madeira**. EdUFERSA, Mossoró, 67- 84, 2018.

SPEAR PJ. Principles of termite control. In: KRISHNA, K. & WEESNER, M. (Ed.). **Biology of termites**. v.2, cap. 13. Academic Press, New York, p. 577-604, 1970.

SUPRIANA N. Notes on the resistance of tropical woods against termites. **IRG**, Working Group Ib, Doc. Nº IRG/WP/1249, 9 p, 1985.

VAREJÃO MJC, NASCIMENTO CS, SOUZA LAG. Leguminosas florestais da Amazônia central. II. Prospecção das classes químicas nas cascas de espécies arbóreas. In: Vianez *et al.* (org.) **Potencial tecnológico de madeiras florestais da Amazônia Central**. INPA, Manaus, p. 57-65. 2012.

VETTER RE, BARBOSA APR. Mangrove Bark: A renewable resin source for wood adhesives. **Acta Amazonica**, 25(1/2): 69-72, 1995.

VIANEZ BF, ABREU RLS. Avaliação da eficiência de um acabamento do tipo stain na redução da lixiviação de boro na madeira. In: Vianez *et al.* (org.) **Potencial tecnológico de madeiras florestais da Amazônia Central**. INPA, Manaus, p. 203-211. 2012.

YATAGAI M, TAKAHASHI T. **Tropical wood extractives effects on durability, paint curing, time and pulp sheet resin spot.** Wood Science, 12(3): 176-181, 1980.

ZHONG-LUH W. The influence of extractives on wood properties and utilization. Chemistry and industry of forest products. **Chinese Society of Forest Chemical Prop and Eng**, 1(2): 34 – 39, 1981.

Capítulo

17

Gestão da Qualidade: proposta de implementação de melhorias e atualização da norma ISO 9001 a partir do uso de ferramentas da qualidade

Quality Management: proposal to implement improvements and update the ISO 9001 standard using quality tools

Williams Alves de Azevedo
Talita Silva Santos de Azevedo

RESUMO

Uma questão fundamental para o sucesso de qualquer empresa é apresentar produtos e serviços de qualidade para clientes cada vez mais exigentes. Por isso buscam constantemente implementar melhorias em seus processos, utilizando ferramentas da qualidade que proporcionem mudanças tanto no planejamento como no controle das atividades, sempre com foco no cliente. A norma ISO 9001:2015 recomenda que todas as organizações sejam capazes de manter um sistema de gestão da qualidade implantado e em constantes melhorias. A certificação nesta norma qualifica que uma organização está habilitada para prover produtos e serviços que atendam aos requisitos do cliente, visando aumentar a sua satisfação, abordando riscos associados com o seu contexto e a capacidade de demonstrar conformidade com requisitos de sistemas de gestão da qualidade. Este trabalho propõe um modelo para implementar melhorias no sistema de gestão da qualidade a partir da análise, identificação, avaliação e tratamento dos riscos associados aos processos de uma indústria de produtos químicos na área de química de petróleo, visando adequação à versão mais recente da norma de gestão da qualidade. Também analisa criticamente o processo e, através da utilização de ferramentas da qualidade, sugere mudanças na gestão dos processos, com o pressuposto de que a mudança é o caminho da melhoria.

Palavras-chave: gestão da qualidade; ISO 9001; gestão de riscos; ferramentas da qualidade.

ABSTRACT

A key issue for any company's success is to deliver quality products and services to increasingly demanding customers. Therefore, they constantly seek to implement improvements in their processes, using quality tools that provide changes both in planning and in controlling activities, always with a customer focus. The ISO 9001: 2015 standard recommends that all organizations can maintain a quality management system deployed and constantly improved. Certification in this standard qualifies that an organization is empowered to provide products and services that meet customer requirements in order to increase its satisfaction by approaching risks associated with its context and the ability to demonstrate compliance with requirements of quality management systems. This work proposes a model to implement improvements in the quality management system based on the analysis, identification, evaluation and treatment of the risks associated to the chemical industry processes in the area of petroleum chemistry, aiming to adapt to the latest version of the standard of quality management. It also critically analyzes the process and, through the use of quality tools, suggests changes in process management, with the presupposed that the change is the path to improvement.

Keywords: quality management; ISO 9001; risk management; quality tools.

INTRODUÇÃO

Facilmente é notada a utilização mais frequente e consciente, por parte de empresas grandes ou pequenas, de ferramentas administrativas que possam trazer melhorias ao seu produto, seja um bem ou um serviço. Este fato deve-se à exigência do consumidor de se sentir plenamente satisfeito com o que adquire. E não somente relaciona-se com a atividade fim da empresa, mas também com as atividades de apoio, aquelas que auxiliam na execução do objeto principal da organização, sem as quais não seria possível tal feito (Martinelli, 2009).

O uso de ferramentas aplicadas a melhoria da qualidade reflete o compromisso da empresa em satisfazer o cliente, seja interno ou externo. Interno porque o resultado de um setor constitui-se em matéria prima de outro e impactará no resultado deste último. Externo pois a competitividade entre as empresas não para de crescer, fazendo com que a disputa na conquista de clientes, bem como na sua manutenção, seja cada vez mais acirrada (Arnold, 2012).

Paladini (2012) afirma que para tornar viável a aplicação de ferramentas da gestão da qualidade, este processo deve envolver três etapas que são a eliminação de perdas, a eliminação das causas das perdas e a otimização do processo (Paladini, 1995). Então a otimização do processo se dará quando os dois primeiros se tornarem realidade.

Segundo Campos (1999), nem todos os processos da empresa tem contato direto com o cliente final para que eles possam atestar a qualidade de cada um ou para que se conheça as suas reais necessidades, por isso é imprescindível que a própria empresa disponha de uma organização interna que faça o planejamento e o controle da qualidade com foco no consumidor.

Para se manter no mercado atual, faz-se necessária a melhoria da qualidade como estratégia de competitividade, mais especificamente da gestão da qualidade. Surge então a necessidade de adequação à norma de gestão da qualidade em sua versão mais recente, a NBR ISO 9001 (2015).

Nesta situação, o presente trabalho visa apresentar a aplicação das ferramentas de gestão da qualidade para mapeamento de processos e adequação à norma de gestão da qualidade que possui o maior número de usuários no mundo em sua mais recente versão.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste tópico serão apresentadas as bases teóricas com as definições fundamentais utilizadas para o cumprimento do objetivo desta pesquisa. Os temas abordados referem-se a: gestão qualidade, Brainstorming, Programa 5S, Diagrama de Ishikawa, Ciclo PDCA, 5W2H, norma NBR ISO 9001, gerenciamento por processos e gestão dos riscos. A seguir, alguns conceitos sobre gestão da qualidade.

Gestão da Qualidade

A evolução desse conceito envolve dois elementos que, segundo Paladini (2012), trazem o conceito correto sobre qualidade. O primeiro diz que ela é conhecida e definida com base em muitos aspectos simultaneamente. Entende-se a partir dessa ideia que não é possível defini-la sem a percepção de sua multiplicidade de itens. O segundo fala de um processo evolutivo, o qual está sujeito a alterações conceituais no decorrer do tempo. Atribui-se uma necessidade de adaptação do conceito em diferentes épocas e momentos, ainda assim mantendo-se a sua essência.

Segundo Marshall Junior *et al.* (2009), essa evolução vem acompanhada de uma forma de nomenclatura própria em cada época, atribuindo-se termos que melhor possam expressar o foco destinado naquele momento. Desde o conceito em que a qualidade se resumia à atividade de inspeção até a era da qualidade total, com uma proposta de definição mais ampla e abrangente, recebendo o título de qualidade total.

Sendo assim, surge a Gestão da Qualidade, fundamentada no conceito de qualidade total, com tendência a ser da forma mais ampla que se possa ser. Atribui-se maior valor para a qualidade em setores diversos da empresa, chegando a desempenhar um papel estratégico na organização. Neste aspecto, investimentos se fazem necessários para construir uma base sólida e duradoura, incorrendo em práticas que possam trazer melhorias aos processos, desenvolvendo hábitos e mudando a cultura empresarial (Paladini, 2012).

Brainstorming

Uma das ferramentas de gestão da qualidade que podem ser aplicadas aos processos e sub processos empresariais é a técnica chamada de *Brainstorming*, que traduzida do inglês significa tempestade de ideias, como é mais conhecida. Trata-se de uma reunião formal ou informal com pessoas que conhecem ou estão envolvidas com o assunto em questão, na intenção de gerar o maior número de ideias possíveis que possam

solucionar um problema ou resultar em uma melhoria necessária à empresa.

Num primeiro momento, a ênfase se dá na quantidade de ideias geradas e não na qualidade delas. Não são julgadas até que esta fase termine, como pressuposto de que a crítica possa criar um impedimento para novas ideias surgirem. Após esta fase de geração de ideias, quando não se pode mais criar uma outra solução original, ou seja, diferente das demais, é feita a ordenação delas, de acordo com critérios escolhidos e selecionados pela diretriz empresarial, como por exemplo: a adequação ao processo, a simplicidade, o menor custo ou mesmo das que realmente são possíveis de se realizar dentro das condições atuais.

É uma ferramenta que contribui também para o desenvolvimento do trabalho em equipe, por trazer a participação dos colaboradores num enfoque de tomada de decisões, fazendo com que cada um tenha sua função reconhecida e se sinta parte do processo de mudança (Marshall Junior, 2008, p.102).

Programa 5S

O Programa 5S ou somente 5S, é um método de gestão criado no Japão, com o intuito de reconstruir um país vencido no pós-guerra. O pensamento central está em desenvolver um comportamento sustentável, com cinco sensos que no japonês iniciam com a letra S, o método foi assim chamado e amplamente difundido no mundo inteiro a partir da década de 60 (Marshall Junior, 2008, p.120).

Os cinco sensos abordados neste método dizem respeito a um melhor comportamento por toda a vida, como diz o professor Falconi Campos (1999). São eles: senso de utilização, senso de organização, senso de limpeza, senso de padronização e senso de autodisciplina.

O senso de utilização também chamado de “descarte” traz o conceito de análise sobre o que é útil para o ambiente de trabalho ou não. O que realmente tem a necessidade de permanecer ocupando espaço. Se algo não é mais necessário à organização deve ser descartado. Isto quer dizer que deve ser posto em um lugar onde terá utilidade que não está tendo no momento, não significa simplesmente jogar no lixo (Paladini, 2012).

Após selecionado o que é útil e o que é inútil para o setor ou ambiente em questão, pode-se partir para a análise do estado em que se encontra o bem, se em funcionamento normal ou necessitando de manutenção. Depois pode-se verificar, no ambiente interno, se outro setor se utilizará dele. Não encontrando um utilizador dentro da própria organização, pode ser encaminhado para o ambiente externo. Se estiver em bom estado pode ser vendido a preço justo para a reutilização, caso contrário até mesmo é possível vender como sucata, servindo para reciclagem e ainda contribuindo como receita, além da redução do custo de manter um bem inservível no local de trabalho (Campos, 1999).

O senso seguinte é o senso de organização, cujo objetivo é proporcionar um ambiente ordenado. Objetos ou ferramentas que são constantemente utilizados são mantidos próximos à estação de trabalho, resultando em redução de movimentos, muitas vezes desnecessários e que causam fadiga ao trabalhador. Aqueles cuja frequência de uso é baixa são mantidos um pouco afastados ou em armários devidamente identificados facilitando a sua busca no momento que se fizerem necessários (Paladini, 2012).

Torna-se possível então a aplicação do senso de limpeza, objetivando a eliminação da sujeira nos objetos, piso, mesas, etc., bem como das causas da sujeira. Identificar a fonte geradora e tratá-la adequadamente é tão importante quanto realizar a limpeza de fato.

Segue-se então para o senso de padronização. Este designa a tarefa de manter a arrumação, ordenação e limpeza adquiridos com a prática dos primeiros sensos. Também pode ser conhecido como higienização ou asseio, indicando a necessidade de estabelecer boas condições sanitárias e a diminuição e eliminação da poluição dentro do ambiente de trabalho (Paladini, 2012).

E por fim, o último dos sensos indica a formação do hábito de realizar todo o Programa 5S rotineiramente. É o senso de autodisciplina, absolutamente importante no sucesso desta prática. Realizar estas etapas apenas uma vez, é determinar o fracasso do programa. Pois haverá uma falsa impressão de que não funcionou, devido o ressurgimento dos problemas que foram atacados.

Em contrapartida, a repetição de cada etapa rotineiramente leva a organização a atingir níveis cada vez mais elevados de qualidade, atentando para o fato de desenvolver colaboradores que habitualmente cumpram regras e procedimentos específicos, tanto por parte do cliente quanto da empresa (Campos, 1999).

Diagrama de Ishikawa

Kaoru Ishikawa foi um pesquisador japonês que tinha afinidade por análise de processos. Juntamente com William Deming e Juran, pesquisadores americanos enviados ao Japão, trabalhou para elevar a economia do Japão num cenário pós-guerra na década de 1950. O foco na época era diminuir o desperdício frente a uma concorrência absurdamente distante que era a indústria automobilística americana. (Marshall Junior, 2009).

Desenvolvendo práticas que pudessem facilitar a visualização das causas que ocasionam desperdícios nos processos foi que surgiu o diagrama de Ishikawa, também conhecido como diagrama de causa e efeito, pois propõe-se a demonstrar todas as causas que podem gerar determinado efeito. Esse efeito pode ser negativo ou positivo e as causas podem ser das mais diversas naturezas. Negativo quando se relaciona a um problema a ser resolvido, como o consumo exagerado de combustível num motor. Quando positivo refere-se a uma melhoria pretendida, como a diminuição do tempo para atendimento ao cliente (Marshall Junior, 2009).

Em todos os casos a busca pela fonte geradora destes efeitos pode não ser uma tarefa fácil e demandar a participação de especialistas no assunto. Por isso Ishikawa, ao desenvolver esse diagrama, fez um agrupamento de causas que possuem fatores comuns e chamou de tipos ou famílias de causas, sendo estas em número de 6, todas iniciadas pela letra “m”, o que originou uma outra maneira de chamar o diagrama de Ishikawa, de diagrama 6M. As causas que podem desencadear um efeito são assim agrupadas como causas de: método, máquina, medida, meio ambiente, mão de obra e material (Campos, 1999).

O diagrama é largamente utilizado e serve para visualizar as causas principais e secundárias de determinado problema, já que se trata de uma ferramenta visual, como

também analisar processos em busca de melhorias. Sua aplicação pode ser feita juntamente com a técnica do brainstorming, com vista a encontrar o maior número de causas que estão ligadas direta e indiretamente com o fator analisado (Arnold, 2012)

Ciclo PDCA

O ciclo PDCA (*Plan, Do, Check e Act*) é um dos métodos de busca de melhoria mais difundidos no mundo. Apresenta quatro etapas que devem ser seguidas na ordem em que estão expostas: planejamento, execução, verificação e ação.

A primeira fase destina-se ao planejamento, imprescindível para toda tarefa a ser desempenhada em um processo. Nesta fase ocorre a necessidade de estipular objetivos, metas e meios para alcançá-los, além dos recursos necessários para tal (Peinaldo, *et al.,* 2007).

Os objetivos são os alvos pretendidos, o que se quer alcançar. Como exemplo pode-se perceber que em uma fábrica onde está ocorrendo perdas de clientes devido ao atraso na entrega dos pedidos que o objetivo é reduzir o tempo dessa entrega.

Já a meta traz uma especificação relacionada ao objetivo, uma mensuração do que se pretende alcançar ou como se pretende alcançar. Seguindo o exemplo anterior, no qual o objetivo é reduzir o tempo de entrega dos pedidos aos clientes, uma meta provável seria reduzir em 25% esse tempo. Algo que pode ser medido, com mais especificidade (Peinaldo, *et al.,* 2007).

Após definidos objetivos e metas pode-se escolher os meios para atingi-los. A maneira como se tornará possível cumprir o objetivo alcançando a meta pré-definida. Retomando o mesmo exemplo, para que as entregas aconteçam de maneira mais rápida, podem ser empregadas diversas técnicas, como um sistema de acompanhamento do pedido em tempo real ou mesmo uma análise do processo, através do diagrama de Ishikawa, para encontrar as causas que geram esse efeito, para então agir sobre elas (Peinaldo, *et al.,* 2007).

Tão importante quanto definir objetivos, metas e os meios para alcançá-los, é explicitar os recursos necessários **à** sua execução. Isso proporciona segurança no momento de executar o planejamento, pois torna conhecido o que deve estar disponível em cada momento para melhor aproveitamento, evitando transtornos inconvenientes, como o fato de não possuir o recurso necessário no momento que se precisa. Como exemplo, de acordo com a situação hipotética da empresa já apresentada, não dispor de tempo dos funcionários e gestores para realização do brainstorming na construção da ferramenta diagrama de Ishikawa, pode se tornar em um fator de insucesso do planejamento (Martinelli, 2009).

A segunda fase trata-se do momento de colocar o planejamento em prática. Para que tudo o que foi planejado aconteça da melhor maneira é indicado que esta etapa seja feita em duas partes: treinamento e desenvolvimento. Antes de começar a fazer qualquer coisa, importa saber se todos os envolvidos de fato sabem executar as tarefas de maneira adequada. Por isso, após o planejamento, deve-se proceder o treinamento, para então executar o que foi proposto. Com isso as chances de obter sucesso são melhores (Peinaldo, *et al.,* 2007).

A terceira fase é a de verificação. Nesta fase o objetivo é coletar dados referentes ao que foi executado na fase anterior e efetuar análise em comparação com o planejamento feito logo no início do ciclo. Esta coleta de dados pode ser conduzida pelos próprios colaboradores que fizeram a execução ou por outros que trabalham nesta função (Paladini, 2012).

Esta etapa pode acontecer após ou durante a execução, já que alguns dados podem ser coletados quando são produzidos. Para isso, uma ferramenta da qualidade chamada de folha de verificação é indicada para ser utilizada nesta fase, pois trata de organizar a coleta dos dados com os itens a serem observados facilitando o seu registro e proporcionando maior agilidade.

Além destes benefícios, a folha de verificação pode ser utilizada para: tornar os dados mais fáceis de obter e utilizar; verificar itens defeituosos; verificar a localização do defeito; verificar as causas do defeito e servir de base para outras ferramentas como o diagrama de Pareto, diagrama de dispersão, histograma, etc. Um ponto negativo na utilização da folha de verificação é que, se algum fenômeno ocorrido na execução não estiver listado, o colaborador pode não o registrar, o que pode ser bastante prejudicial no controle desse processo (Peinaldo, *et al.,* 2007).

A quarta fase então será o momento de corrigir o que deu errado e que foi verificado na fase anterior. É o momento de agir corrigindo os desvios que surgiram no decorrer da execução para que o processo chegue ao seu objetivo. Muitos processos sofrem falhas em decorrência da fase de execução, mas não se pode deixar de lado a hipótese dessas falhas terem sido resultado de um mau planejamento. Então as ações corretivas efetuadas servirão como insumos para o novo planejamento que se iniciará.

Este é o ciclo PDCA, de melhoria contínua, com infinitas repetições, cada uma resultando em melhorias para o processo. É possível lembrar da trilogia de Juran, que define os pontos mais expressivos e fundamentais quando se trata da qualidade, que são o planejamento, o controle e a melhoria do processo(Juran, 1995).

5W2H

O plano de ação 5W2H é uma ferramenta da qualidade que traz sete perguntas para orientar um planejamento. O nome da ferramenta diz respeito às iniciais das sete perguntas em inglês: *what, where, who, why, when, how* e *how much*. Pode ser aplicada na primeira fase do PDCA, proporcionando um agrupamento das informações mais importantes e que não podem ser deixadas de lado com uma boa organização visual (Martinelli, 2009).

Norma NBR ISO 9001:2015

A exigência de qualidade nas organizações é cada vez mais fundamental. Para disputar espaço num mercado tão competitivo, um dos fatores decisivos é a gestão da qualidade. Num mundo como na década de 1930, em que cada país impunha padrões de qualidade a serem seguidos, na busca pelas melhores práticas voltadas a esse tema, a grande dificuldade era entender qual o melhor procedimento que deveria ser seguido.

Nesse intuito, uma organização internacional independente, não governamental,

com sede em Genebra, na Suíça, se popularizou com o desenvolvimento de normas de padronização em quase todos os setores como segurança alimentar, saúde, agricultura, produção industrial, etc. Aqui no Brasil o órgão responsável pela publicação, acompanhamento e fiscalização das normas ISO, que são desenvolvidas em parceria com os diversos países, para unificação dos padrões, é a ABNT. Dentre as diversas normas publicadas, a família mais conhecida é a série ISO 9000 que aborda a gestão da qualidade. De forma geral o objetivo das normas sobre gestão da qualidade refere-se ao atendimento dos requisitos dos clientes e a garantia de melhoria contínua da qualidade (ABNT, 2015).

O aumento da satisfação do cliente, interno ou externo, permeia toda a norma, que traz mecanismos para o planejamento e execução das atividades com vistas a não perder o controle dos processos. Parte de uma visão geral da empresa como um processo global, para então identificar os processos que o compõem com suas entradas e saídas, sejam produtos ou serviços, apesar da norma de 2008 citar apenas a palavra produto (Carpinetti, 2011).

A NBR ISO 9001:2015 é a mais nova versão da norma, resultado de uma revisão da versão de 2008. Em relação a versão anterior, além da estrutura e terminologia, explicitando a abrangência para serviços e não somente para produtos, está a mentalidade de riscos que deve ter uma abordagem clara e objetiva, servindo de base para o planejamento, permeando todas as etapas do processo até a sua implementação. As normas da ISO baseiam-se em uma visão da organização por processos, o que torna mais fácil o controle e a implementação de mudanças.

Abordagem por processos

Dentro de um ambiente organizacional, foi-se percebido que enxergar a empresa sob a ótica departamental, de funções ou mesmo de produtos, modelo amplamente difundido e utilizado no século XX por Taylor, Fayol e Ford, já não traz tantos benefícios quanto trazia naquela época. A necessidade de rapidez nas mudanças, o surgimento de consumidores conscientes e a concorrência com empresas internacionais dentro de um mundo globalizado são alguns dos fatores que elucidaram o desgaste deste modelo, bem como a importância da adoção de um novo olhar, uma nova perspectiva (Paladini, *et al.,* 2012).

Assim, visualizar todos os processos existentes e a correlação entre eles trata-se de uma tarefa difícil, no entanto mostrou-se que é a melhor maneira para que se possa chegar no ponto principal, que é a satisfação do cliente. O gerenciamento por processos busca gerar valor para o cliente em todas as tarefas. Para Paladini (2012), quando o foco é o processo, o todo prevalecerá sobre o individual, pois o resultado final do processo global é mais importante do que dos processos individuais.

Segundo Carpinetti (2012), um processo pode ser entendido como um conjunto de atividades que transformam entradas em uma ou mais saídas, através de recursos organizacionais. A partir desse entendimento, todo processo pode ser melhorado, maximizando a produtividade. Isso se alcança aumentando a eficiência e a eficácia. Eficiência é fazer certo as coisas e eficácia é fazer as coisas certas (Arnold, 2012).

Arnold (2012) afirma que para que haja a melhoria contínua dos processos é necessário que todos percebam duas tarefas básicas: desempenhar o próprio trabalho e melhorar o próprio trabalho.

A abordagem por processo é o que a NBR ISO 9001 promove, tanto no desenvolvimento, quanto na implementação e na melhoria de um sistema de gestão da qualidade (ABNT, 2015), pois facilita para a organização o controle dos processos, bem como as inter-relações e interdependências entre eles, aumentando o desempenho global.

O que também é benefício de uma abordagem por processos, referenciado na norma, é a fácil identificação dos riscos associados a cada processo, que podem causar impactos no micro e consequentemente no macroprocesso, requerendo uma atenção especial na determinação destes riscos, o que se pode chamar de gestão de riscos.

Gestão de riscos

Dentro de uma visão por processos, abordar os riscos existentes identificando-os em cada etapa se faz de extrema importância, em se tratando da continuidade do processo e da satisfação do cliente.

Risco é a incerteza que toda organização possui de que conseguirá de fato atingir seus objetivos, influenciada por fatores internos e externos. Todas as atividades de uma organização envolvem risco, seja ela de grande ou pequeno porte, por isso a necessidade de gerenciá-lo é tão importante, possibilitando o sucesso da empresa através da melhoria da qualidade de seus produtos (ISO, 2009).

Embora todas as organizações gerenciem, até certo grau, o elemento chamado de risco, nem todas desenvolvem, implementam e melhoram continuamente um sistema de gestão para abranger o planejamento, a alta administração, as políticas administrativas e os valores e cultura em toda a empresa (Assi, 2012).

Segundo a norma ISO 9001:2015, possuir uma mentalidade de risco habilita a organização a determinar o que pode causar desvios nos processos e colocar em prática ações preventivas para minimizar eventos negativos e aproveitar as oportunidades que podem surgir. Planejar e implementar estas ações constroem uma base para aumentar a eficácia do sistema, alcançando melhorias (ABNT, 2015).

Dentre os riscos que podem existir para determinada organização, levando em consideração a subjetividade, pelo fato de que eles podem ou não ocorrer, 21 tipos de categorias diferentes **são** citados por Marcos Assi (2012). O quadro 1 mostra algumas dessas categorias e uma breve explicação ou exemplificação do que vem a ser cada risco citado.

Ainda de acordo com Assi (2012), para que seja feita a identificação destes eventos e distingui-los entre riscos e oportunidades, os gestores precisam preocupar-se constantemente com as mudanças que ocorrem ao seu redor e desenvolver um sistema que possibilite identificar os riscos que afetam os objetivos da organização, vindos de fontes externas ou internas. O quadro 1 mostra exemplos de quais são fontes externas e internas, bem como meios para identificar os riscos nas duas situações.

Com os riscos identificados, segue-se a análise crítica, para determinar a gravidade dos riscos encontrados, avaliando inclusive as ações necessárias para eliminar, minimizar, aceitar ou evitar o risco.

Quando se trata de eliminar o risco, refere-se a tratá-lo na fonte geradora, onde o risco tem início. Há ocasiões que existe essa possibilidade, fazendo com que não seja necessário um esforço maior na tentativa de conviver com ele. Minimizar é uma atitude tomada quando não é possível eliminar e diz respeito a diminuir a exposição ao risco, influindo na sua probabilidade de ocorrência (Assi, 2012).

Aceitar o risco é uma terminologia utilizada quando não é possível eliminar e não se pode minimizar a possibilidade de ocorrência. Isso vincula-se a utilizar-se de meios para melhorias em áreas da empresa que possam fazer com que os efeitos do risco em questão não tomem maiores proporções do que já tem. Já evitar o risco, trata-se de decisão fundamentada em análise da situação corrente de não obtenção de retornos satisfatórios que compensem sofrer exposição a ele (Assi, 2012).

Quadro 1 - Categorias de riscos a que uma atividade está exposta.

Categoria	Considerações
Risco Operacional	• Perdas diretas e indiretas; causado por fraquezas ou ausência de controles internos adequados e por eventos externos. • Risco de overload • Risco de obsolescência • Risco de confiabilidade • Risco de equipamento • Risco de erro não intencional • Risco de fraude • Risco de qualificação • Risco de produtos e serviços • Risco de regulamentação • Risco de modelagem • Risco sistêmico • Risco de concentração • Risco de imagem • Risco de catástrofe
Risco Legal	• Questionamentos jurídicos; • Descumprimento da legislação vigente; • Decisões judiciais.
Risco Contratual	• Inadequação formal do contrato; • Interpretação errônea das cláusulas; • Desconformidade com a legislação vigente.
Risco de Conformidade	• Inobservância, violação ou interpretação indevida de regulamentos e normas.
Risco Político	• Mudanças promovidas por autoridades políticas.
Risco de Liquidez	• Deficiência de fundos para assumir compromissos; • Centralizada na tesouraria; • Disponibilidade para curto, médio e longo prazo.
Risco de Mercado	• Variabilidade dos preços dos fornecedores e dos produtos; • Taxas de juros, de câmbio, preços de ações e commodities.
Risco de Demanda	• Mudanças imprevistas na legislação; • Mudanças no gosto do cliente.
Risco de Reputação	• Não atendimento da demanda; • Insatisfação dos clientes.
Risco de Continuidade	• Sucessão do corpo diretivo, pessoas chave; • Backup; • Plano de Negócios; • Acesso ao prédio em caso de distúrbios naturais, greves, protestos, entre outros.

Fonte: adaptado de Assi, 2012.

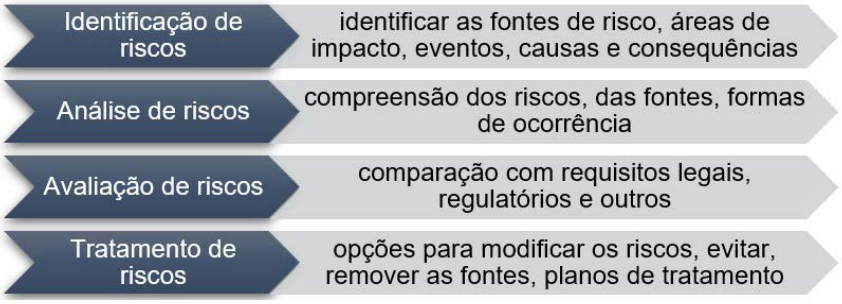
Quadro 2 - Identificação de eventos.

Fontes externas	Fontes internas
Ambiente macroeconômico	Infraestrutura
Mercado	Pessoas
Ambiente político	Processos
Natureza	Tecnologia
Ambiente social	-
Tecnologia	-
Identificação	
Questionário/pesquisa	
Planejamento estratégico – SWOT	
Análise de processos	
Check list/Análise histórica	
Benchmarking	
Auditorias	

Fonte: adaptado de Assi, 2012.

A figura 1 mostra um esquema de passos que compõem o processo de avaliação de riscos seguindo orientações da ISO 31000:2009 que trata sobre a gestão de riscos.

Figura 1 - Processo de Avaliação de Riscos.



Fonte: ISO 31000:2009 – Processo de gestão de riscos.

METODOLOGIA

Neste capítulo destacam-se a análise do sistema, aplicação de ferramentas gerenciais e proposição de modelo de gestão dos riscos no processo de fabricação de uma indústria do ramo petroquímico no estado Sergipe. A empresa atua na fabricação de produtos químicos na área de química de petróleo em Nossa Senhora do Socorro, Sergipe. Oferece uma ampla variedade de produtos e serviços de qualidade internacional e desenvolveu diversas tecnologias, para tratamento de petróleo e serviços de classe mundial favorável ao meio ambiente.

Com o intuito de aprimorar a qualidade, preservar o meio ambiente e assegurar a segurança e saúde ocupacional, desenvolveu um sistema de gestão Integrada para garantir a satisfação dos clientes, colaboradores, acionistas e o comprometimento de todos os colaboradores com os objetivos da organização, obtendo consequentemente uma maior competitividade e destaque no mercado.

Todos os processos da empresa estão agrupados em três macroprocessos: Processo Principal, Processos de Apoio 1 e Processos de Apoio 2. Os Processos de Apoio 1 referem-se ao planejamento do sistema e a análise crítica do SGI. Os Processos de Apoio 2 são os de provisão de RH, aquisição, gestão da informação, provisão de recursos de infraestrutura, gerenciamento de AC/AP, acidente e produto não conforme, medição e monitoramento de desempenho. O Processo Principal da empresa envolve o planejamento e realização do produto.

Este trabalho está delimitado ao processo de fabricação, que está dentro do processo principal, o de planejamento e realização do produto. Este processo foi escolhido pela empresa para se iniciar a identificação dos riscos existentes, bem como as ações para prevenção e minimização destes, no intuito de se adequar à nova versão da norma ISO 9001 publicada no ano de 2015.

O processo escolhido envolve as seguintes etapas: emissão de ordem de serviço; disponibilização de matéria-prima; pesagem; adição no tanque de sucção; transferência para o tanque de mistura; mistura; checagem do produto.

Os produtos gerados ao final deste processo, razão de ser da empresa, dentre outros são: inibidor de incrustação, inibidor de corrosão, desengraxantes e melhoradores de fluxo.

Os dados que serviram de base para a realização deste estudo foram coletados através de observação, aplicação de questionário, bem como consultas a dados de registros internos e a realização de entrevistas, formais e informais com gestores e colaboradores.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção é apresentado o processo de fabricação da empresa estudo de caso, com uma análise crítica da situação atual. Em seguida apresenta-se a utilização de ferramentas da qualidade no intuito de implementar melhorias, proporcionando ao processo delimitado na pesquisa, adequação à norma da qualidade ISO 9001:2015 nos requisitos 4.1, 4.2 e 6.1 da norma.

Análise crítica do processo

O processo de fabricação é simples e bem estruturado, entretanto pode ocorrer falhas em relação aos itens envolvidos como equipamentos, informações veiculadas ou mesmo aos colaboradores no momento da operação. Por isso se faz necessária a intervenção, desde o planejamento até a execução das atividades, para implementar melhorias.

A ordem de produção, que rege o início das operações na fabricação, é elaborada pelo engenheiro e determina as matérias primas que serão utilizadas, suas quantidades e outras especificações pertinentes, o colaborador responsável recebe e executa a separação das bobonas contentoras dos materiais armazenados, fazendo a transferência das bobonas para um tanque misturador, por meio de sucção com o uso de uma bomba hidráulica. Os materiais ficam em agitação pelo tempo determinado pelo engenheiro químico na ordem de produção, em seguida serão armazenados em outras bobonas para serem encaminhadas

ao processo de embalagem, assumindo a forma na qual é entregue ao cliente.

Com a utilização do Programa 5S, considerando o primeiro senso, o senso de utilização e descarte, a empresa destina um espaço para que os itens que não serão mais usados sejam acondicionados para um posterior descarte. Os restantes são dispostos no local de uso de maneira organizada como diz o segundo senso. A limpeza é feita constantemente e sempre que ocorre o processo produtivo. Com cada item no seu devido lugar, com demarcações dos ambientes internos, proporciona padronização. Com treinamentos periódicos os colaboradores mantem o senso de autodisciplina.

Existem pontos no processo de fabricação e relacionado a ele onde há diversos riscos encontrados, dentre eles: risco de equipamento, risco de erro não intencional, risco de qualificação, risco de produtos e serviços e risco de catástrofe.

Risco de equipamento é observado quanto à falta de manutenção ou mesmo à negligência humana. Observa-se o risco de erro não intencional vinculado ao despreparo, negligência operacional de funcionários, omissões e até distração. O risco de qualificação está ligado a ausência de qualificação dos colaboradores que atuam no processo. Encontra-se o risco de produtos e serviços quando estes não atenderem às necessidades e demandas dos clientes. Já o risco de catástrofe relaciona-se à possibilidade de ocorrência de incêndio, explosões e colisões.

Identificação e avaliação dos riscos

Para identificar os riscos existentes em cada etapa do processo, foram feitos acompanhamentos, observações, aplicação de questionário, formal e informal, com a participação dos gestores que conhecem o processo como também colaboradores que atuam nos processos analisados.

O questionário aplicado aos gestores e colaboradores permitiu a identificação de riscos que podem afetar os processos da empresa, tanto os riscos que já ocorreram como os que não possuem ocorrência registrada no histórico de funcionamento da empresa, proporcionando uma coleta mais rápida dos dados requisitados. Com a identificação realizada, foi possível avaliar o impacto desses riscos nas operações empresariais para posterior definição de ações de abordagem nas fases anteriores e posteriores à sua ocorrência.

Um dos riscos encontrados no processo de fabricação diz respeito ao colaborador que opera o tanque misturador na transferência do produto para a bobona de armazenamento. Inclui-se na categoria de riscos operacionais, na subcategoria de risco de erro não intencional, que por falta de atenção, despreparo ou mesmo falta de treinamento, o colaborador pode retirar a mangueira do mangote quando o produto químico ainda emana, podendo ocasionar a projeção do mesmo sobre a face do operador e fazer com que o produto continue emanando sobre o solo.

Neste caso, planos de ação podem ser feitos para que não ocorra a falha ou que quando este evento indesejado ocorrer, todos possam conhecer o que se deve fazer compreendendo todas as informações apresentadas de forma clara, não oferecendo espaço para a dubiedade.

Após realizada a identificação e avaliação dos riscos encontrados, com os métodos citados, a aplicação de ferramentas da qualidade pode ser feita para que sejam geradas melhorias no processo impactando no devido tratamento dos eventos suscetíveis de ocorrência.

Aplicação de ferramentas da qualidade

A ferramenta da qualidade aplicada durante e após a identificação e avaliação dos riscos encontrados é o ciclo PDCA. Dentro de sua estrutura foram aplicadas outras ferramentas, como o *Brainstorming*, o diagrama de Ishikawa, a folha de verificação, o 5W2H que resultou em um plano de ação e foi acrescentado ao esquema que ilustra a estrutura dos processos existentes na empresa os riscos encontrados em cada um.

O *Brainstorming* serviu de base para a discussão do que poderia causar o determinado risco, utilizando-se também do diagrama de Ishikawa, para elencar as principais causas geradoras do efeito indesejado. A folha de verificação foi utilizada em forma de questionário, expondo boa parte dos riscos encontrados na literatura consultada, para determinar quais fazem parte do processo em análise. E o 5W2H refletiu o resultado da aplicação das ferramentas anteriores.

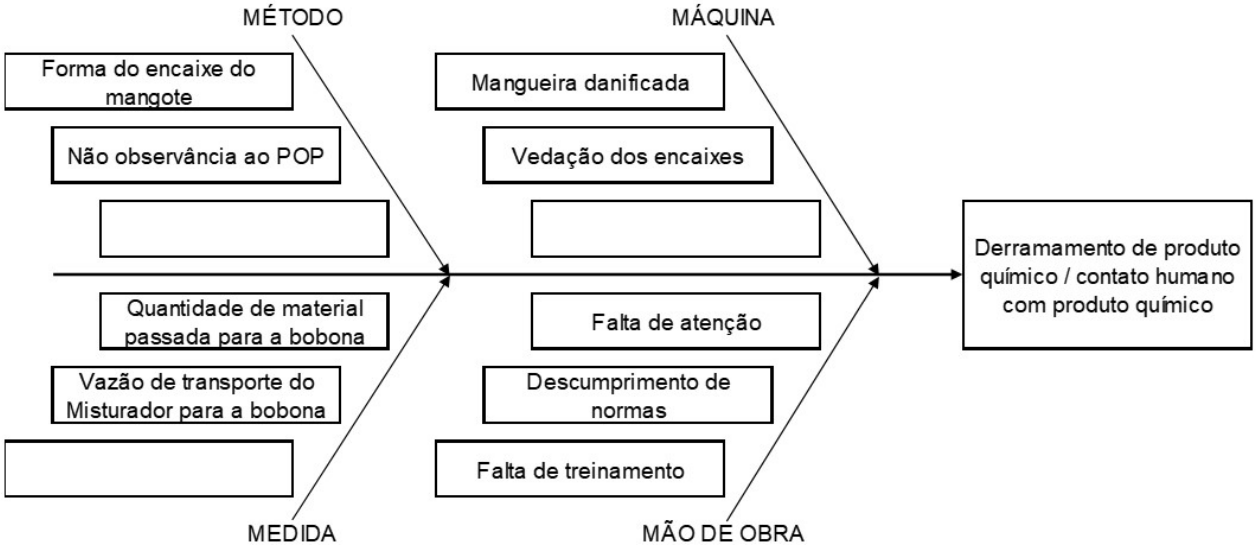
O ciclo PDCA aplicado à indústria de produtos químicos na área de química de petróleo, mais especificamente ao processo de fabricação desta empresa, que foi delimitado como área de estudo deste trabalho, pôde ser utilizado com duas abordagens diferentes. A primeira, com o foco de evitar e minimizar a possibilidade de ocorrência dos riscos analisados. A segunda, objetivando reduzir o impacto e aceitar os riscos, implementando planos de ações para abordá-los no momento de sua incidência.

Primeira abordagem do ciclo PDCA

Quanto a primeira abordagem, na primeira fase do ciclo, que é a fase de planejamento, antes de executar qualquer ação foi feita uma análise minuciosa do risco encontrado para identificar como ele ocorre, suas causas mais prováveis, como também o subprocesso em que está inserido, observando qual a interferência dos fatores envolvidos no seu aparecimento. Para esse fim foi utilizado o diagrama de Ishikawa apresentado na quadro 3, evidenciando as principais causas referentes a quatro dos 6 M's que representam as famílias de causas.

O efeito analisado é o derramamento de produto químico e o contato humano com este produto. As causas mais aparentes que podem desencadear tal efeito estão expostas nos grupos de causas de método, máquina, medida e mão de obra. Os grupos de causas de meio ambiente e de matéria prima foram desconsiderados para o efeito analisado por não serem identificadas causas diretas que levem a desencadeá-lo.

Quadro 3 - Diagrama de Ishikawa aplicado a um risco encontrado no processo.



Fonte: adaptado pelo autor.

Todas as causas apresentadas têm potencial para levar a existência do problema, por isso devem ser investigadas, acompanhadas e tratadas para que se mantenha o controle do processo.

Uma vez identificadas as causas que podem ocasionar o efeito analisado, segue-se a determinação de estratégias de combate para que não venha a ocorrer. Através do *brainstorming* realizado com a gerência da empresa, foi feito um plano de manutenção simplificado para que não ocorram falhas originárias das máquinas e equipamentos utilizados. Também foram determinados treinamentos periódicos para os operadores objetivando a não ocorrência de efeito negativo por causa de erro no procedimento operacional.

Após efetuados os treinamentos e manutenções programados, que é a segunda fase do PDCA, foi possível fazer uma verificação para constatar se os resultados foram alcançados e se estavam de acordo com o que foi planejado, esta é a terceira fase do ciclo.

Nesta fase foi verificado que a realização das manutenções torna o procedimento mais seguro e evita possíveis falhas em decorrência do desgaste dos materiais. Também foi percebido que o treinamento realizado periodicamente traz benefícios, mas a ocorrência do evento indesejado por causa de mão de obra ainda continua com grande potencial de possibilidade de acontecimentos. Por esse motivo algumas ações corretivas no planejamento inicial se fizeram necessárias, a quarta fase do ciclo, onde se propôs construir um plano de ação a ser utilizado quando necessário. Esta será a segunda abordagem do ciclo PDCA.

Segunda abordagem do ciclo PDCA

No primeiro momento, a fase de planejamento, o que foi feito para minimizar o efeito dos riscos identificados culminou num plano de ação (5W2H), elaborado para ser seguido em caso de ocorrência de eventos indesejáveis.

Dentro desta fase está a aplicação do questionário citado anteriormente. Com a utilização deste recurso foi possível definir o que deve ser feito e os meios para alcançar este objetivo. Com a identificação do risco citado, risco de erro não eventual por falta de atenção

do colaborador, o plano de ação está descrito no Quadro 4 e servirá como instrumento de apoio para consulta caso o evento indesejável venha a ocorrer.

Definido um plano de ação para o risco identificado, a fase de planejamento se encerra e, neste caso, o próximo passo referente às fases do ciclo PDCA é a execução do planejamento, que virá a ocorrer quando o evento indesejável acontecer. No decorrer da execução e após ela, far-se-á a verificação do que foi realizado para constatar se o plano foi aplicado corretamente e até mesmo se tudo o que se fizer necessário está descrito no plano que, em caso negativo, sofrerá as mudanças necessárias para implementação de melhorias.

Durante o tempo de observação e pesquisa, o período de estágio curricular, não houve incidência de eventos com impacto negativo no processo analisado, incluindo o evento explanado neste trabalho.

Ações para abordagem dos riscos identificados

Dentro das ações para abordagem dos riscos identificados no processo estão a criação de planos de ação por tipo de risco e causas envolvidas e a visualização destes riscos dentro da estrutura organizacional da empresa.

Plano de ação para os riscos

Como exemplo de aplicação da ferramenta 5W2H, apresentada no Quadro 4, está o plano de ação para um dos riscos identificados, onde ocorre a necessidade de intervenção da brigada de emergência, que na empresa estudo de caso é formada por quatro pessoas, que passam por treinamentos periódicos buscando o preparo para agir em situações como esta, onde ocorre um acidente de trabalho típico.

Uma vez que o acidente acontece e é identificado, alguém que estiver mais próximo do local do fato acionará a brigada de emergência disparando o alarme de emergência mais próximo. Com o soar do alarme a equipe se reunirá num local predefinido, neste caso o pátio da entrada do galpão de fabricação e então se dirigirá para o local do ocorrido. Ao constatar o tipo de material derramado e a quantidade, poder-se-á efetuar a busca do kit de emergências ambientais, com EPI's e materiais de primeiros socorros, bem como a utilização de EPC's como o chuveiro lava olhos, que é imprescindível em locais que trabalham com produção ou manipulação de produtos químicos.

Após isso será efetuada a neutralização do produto químico derramado para evitar contaminação do solo e novos acidentes. Outra tarefa importante que deve constar neste plano de ação é o acionamento do SAMU para que a vítima receba um atendimento completo e seja submetida a exames que detectem a gravidade dos danos ocasionados em decorrência do acidente de trabalho.

Este procedimento descrito acima foi discutido e elaborado juntamente com gestores, colaboradores e membros da brigada de emergência, todos com conhecimento do assunto, utilizando a ferramenta *brainstorming*, que possibilita um ambiente favorável para a geração de ideias capazes de solucionar o problema proposto, neste caso, uma situação de melhoria da gestão da qualidade na abordagem dos riscos existentes no processo de

fabricação, um dos processos que compõem o processo principal da empresa.

A reunião dessas informações em um documento que ficará acessível dentro do ambiente de trabalho foi feita nos moldes da ferramenta da qualidade 5W2H, constante no quadro 4.

Quadro 4 - Plano de ação para risco de contato com produto químico.

What O que fazer?	**Where** Onde fazer?	**Who** Quem fazer?	**Why** Por que fazer?	**When** Quando fazer?	**How** Como fazer?
Acionar a brigada de emergência.	Local de acesso ao alarme geral.	Membro da brigada ou colaborador que presenciar o fato.	Para reunir a brigada em frente à sala de administração.	Imediatamente à identificação do ocorrido.	Acionando botoeira do alarme.
Constatar características do fato.	No local do ocorrido.	A brigada de emergência.	Para definir o tratamento dos efeitos gerados.	Após o acionamento da brigada.	Com observações visuais e consulta à FISPQ.
Prestar primeiros socorros.	No local de ocorrência.	Membro da brigada com conhecimento específico.	Para evitar maiores danos à saúde do colaborador.	Imediatamente após a constatação das características do fato.	Utilizando EPI's, kit de emergência, conduzindo ao chuveiro lava olhos e isolando a área.
Neutralizar o produto químico.	No local de ocorrência.	Membro da brigada com conhecimento específico.	Para evitar contaminação do solo.	Após isolar a área atingida e prestar os primeiros socorros.	Tratar com água corrente ou outros produtos que se fizerem necessários.
Acionar o SAMU.	Setor administrativo.	Membro da brigada.	Para evitar danos maiores à saúde do colaborador.	Imediatamente após a constatação das características do fato.	Por meio de ligação telefônica para o 192.

Fonte: autor

Para esta situação não foi mencionado o custo envolvido na execução de cada etapa deste plano de ação por não serem conhecidos os limites que possibilitariam saber quanto de cada material consumido seria utilizado para sanar todos os problemas originados do acidente.

Este plano de ação deve estar claro para qualquer pessoa que vier a utilizá-lo, pois em caso negativo não trará benefícios para empresa, mas ao contrário disso, prejuízo. Tanto por questões relacionadas ao desempenho de tarefas desnecessárias ou errôneas como por ter despendido tempo na sua elaboração que poderia ter sido aproveitado de outra maneira.

Além da elaboração de planos de ação para abordar os riscos também foi possível representar os riscos existentes, identificados até o momento atual, dentro da estrutura organizacional da empresa.

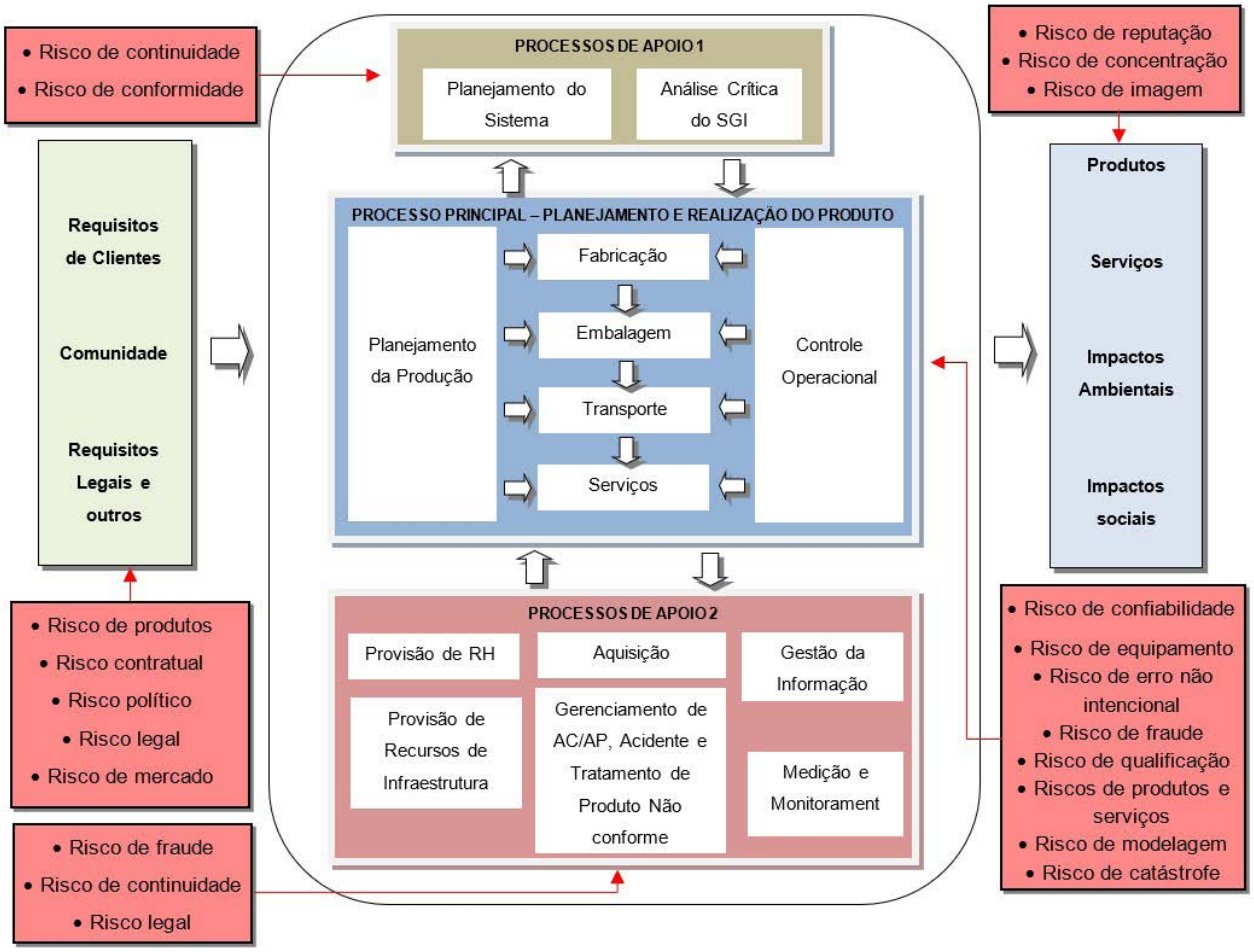
Visualização dos riscos na estrutura organizacional

Conhecer os riscos existentes num determinado ambiente faz com que o gestor possa, com clareza, optar por práticas que conduzam os processos empresariais por caminhos mais seguros. E essa atitude é repassada ao cliente interno e externo gerando confiança e a satisfação de estabelecer relações que tem a tendência de serem mais duradouras.

A representação gráfica apresentada na figura 2 facilita a visualização dos riscos nos processos já definidos. Em todos os processos que formam a estrutura da empresa há riscos inerentes a eles. Estes riscos estão vinculados às atividades desempenhadas em cada processo e informam ao gestor o que precisa ser monitorado e controlado para que a ocorrência de efeitos negativos nos processos não venha a prejudicar o macroprocesso da empresa, deixando o ambiente interno instável.

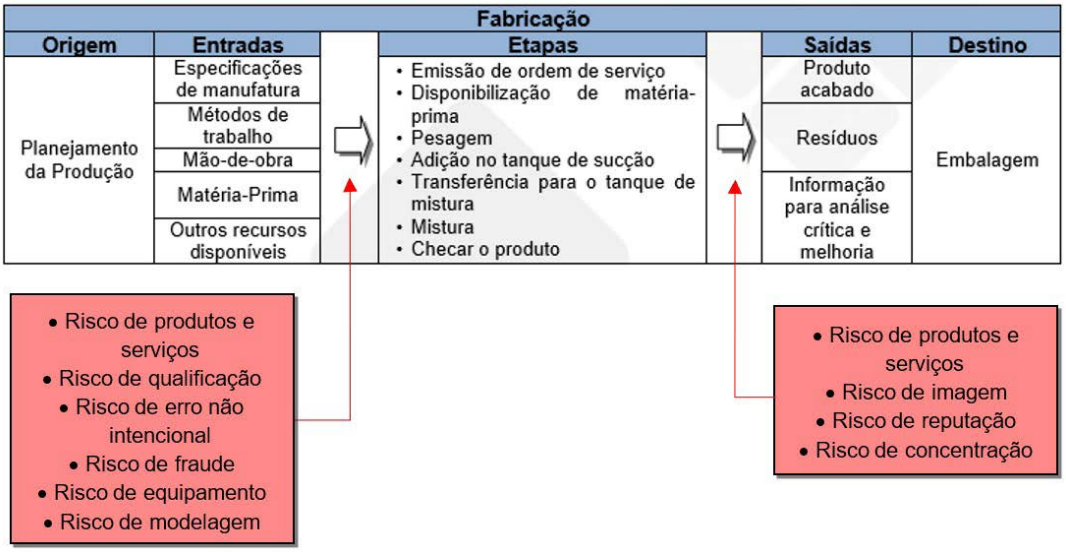
Mais especificamente para o processo de fabricação, que está dentro do processo principal, a visualização dos riscos envolvidos está representada na figura 3. Esta representação indica, tanto nas entradas quanto nas saídas deste processo, os pontos de alerta, onde pode acontecer algum problema que possa impactar no desenvolvimento das atividades.

Figura 2 - Estrutura da empresa com visualização dos riscos.



Fonte: autor

Figura 3 - Processo de fabricação com visualização dos riscos.



Fonte: autor.

Sugestões

Através da análise crítica de um dos processos que compõem o processo principal da empresa, o processo de fabricação, tornou-se possível a identificação de riscos capazes de afetá-lo e consequentemente afetar toda a organização. A aplicação do ciclo PDCA para melhoria contínua de processos propiciou uma abordagem eficaz no desenvolvimento destas tarefas.

Uma vez identificados os riscos e avaliados quanto ao impacto que podem causar no processo, foram utilizadas ferramentas da qualidade para encontrar as causas principais que podem gerar eventos indesejáveis. Após encontradas as causas, foram programadas ações para evitar a sua ocorrência. Aplicadas as ações planejadas e verificando que a possibilidade de ocorrência destes eventos permanecia, seguiu-se para mais um giro de ciclo PDCA, agora para aceitar o risco desenvolvendo planos de ação para aplicação quando for preciso.

Diante dessa situação sugere-se à empresa estudada a criação de um manual de combate aos riscos, arquivando documentos como o que foi produzido no desenvolvimento deste trabalho, que esteja disponível a todos os colaboradores nos setores empresariais e seja classificado por setores e processos.

Como medida auxiliar de combate aos riscos que trazem uma maior preocupação e impactam diretamente no alcance dos objetivos estratégicos, recomenda-se a publicação das informações relacionadas aos riscos, bem como formas de prevenir, evitar, minimizar ou conviver com eles, em murais localizados nos diferentes ambientes, para conscientização de todos.

Para a abrangência desta metodologia a todas as áreas da empresa, a sugestão é reunir colaboradores de diferentes áreas e compor uma equipe que possa seguir as etapas apresentadas neste trabalho, com no mínimo um integrante que tenha conhecimento das ferramentas da qualidade aqui apresentadas para a sua correta aplicação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado buscou propor melhorias na gestão do processo de fabricação em decorrência da adequação à norma NBR ISO 9001:2015, no requisito "ações para abordar riscos e oportunidades". Para isso utilizou-se de análise crítica das atividades do processo, identificando e avaliando riscos, aplicando ferramentas de gestão da qualidade para melhoria do processo e então planejando ações para abordagem dos riscos identificados no processo avaliado.

A proposição inicial foi alcançada dentro da limitação do tempo de observação e pesquisa, chegando a atingir o objetivo geral, propondo melhorias na gestão do processo, bem como os objetivos específicos, analisando criticamente o processo, identificando e avaliando riscos, aplicando ferramentas de gestão da qualidade e planejando ações de abordagem dos riscos. A metodologia aplicada pode ser replicada nos outros processos existentes para uma completa adequação do sistema de gerenciamento de riscos.

Também é possível verificar a dificuldade na identificação de riscos que jamais houve incidência no histórico da empresa, pois a mentalidade de risco não desenvolvida faz com que não se perceba a exposição real a eles, já que nunca aconteceram, mas que são possíveis de acontecer.

Esta é uma área de atuação profissional do engenheiro de produção que demanda experiência e conhecimentos mais profundos, que podem ser adquiridos no decorrer do curso, bem como a interligação de áreas de conhecimento diferentes presentes no perfil desse profissional, como gestão da qualidade, segurança no trabalho e gestão da produção.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.abnt.org.br >. Acessado em 27 out. 2016.

ARNOLD, J. R. Tony. **Administração de materiais**: uma introdução. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2012

ASSI, Marcos. **Gestão de riscos com controles internos**: ferramentas, certificações e métodos para garantir a eficiência dos negócios. São Paulo: Saint Paul Editora, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) – **NBR ISO 9001:2015**: Gestão da Qualidade. Rio de Janeiro, 2015.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC – Controle da Qualidade Total** (no estilo japonês). Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1999.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. *et al.* **Gestão da qualidade ISO 9001:2008**: princípios e requisitos. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

CARPINETTI, Luiz Cesar Ribeiro. **Gestão da qualidade**: conceitos e técnicas. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

CHEHUEN NETO, José Antonio. **Metodologia da pesquisa**: da graduação à pós-graduação. 1. ed. Curitiba: CRV, 2012. http://certificacaoiso.com.br/quais-foram-as-mudancas-estruturais-da-iso-9001-2015/

ISO – International Organization for Standardization. **Site institucional**. Disponível em: <http://www.iso.org/iso/home.htm?=>. Acessado em 27 out. 2016.

JURAN, J. M. **Juran planejando para a qualidade**. 3. ed. São Paulo: Pioneira, 1995.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Metodologia do trabalho científico**: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos. 7. ed. 6. reimpr. São Paulo: Atlas, 2011.

MACHADO, Ana Luiza Jordão. **Gerenciamento da qualidade em suprimentos**: um modelo de avaliação de desempenho para os fornecedores da SLC Agrícola. **TCC**. Porto Alegre: UFRS, 2011.

MARSHALL JUNIOR, Isnard (et al). **Gestão da Qualidade**. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2009.

MARSHALL JUNIOR, Isnard. **Gestão da Qualidade**. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2008.

MARTINELLI, Fernando Baracho. **Gestão da qualidade total**. Curitiba: IESDE Brasil, 2009.

MOREIRA, Daniel Augusto. **Administração da produção e operações**. 2 ed. rev. e ampl. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade no processo**: a qualidade na produção de bens e serviços. São Paulo: Atlas, 1995.

PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da Qualidade**: teoria e prática. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

PALADINI, Edson Pacheco; CARVALHO, Marly Monteiro de. **Gestão da Qualidade**: Teoria e Casos. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier ABEPRO, 2012.

PEINALDO, Jurandir. GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da produção**: operações industriais e de serviços. Curitiba: UnicenP, 2007.

PRESTES, Maria Luci de Mesquita. **A pesquisa e a construção do conhecimento científico**: do planejamento aos textos, da escola à academia. 4. ed. São Paulo: Rêspel, 2014.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2007.

SLACK, Nigel (et al). **Administração da produção**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2015.

XAVIER, Antonio Carlos. **Como fazer e apresentar trabalhos científicos em eventos acadêmicos**: [ciências humanas e sociais aplicadas: artigo, resumo, resenha, monografia, tese, dissertação, tcc, projeto e slide]. Recife: Rêspel, 2014.

Organizador

Adriano Mesquita Soares

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/PG, linha pesquisa em Gestão do Conhecimento e Inovação e Grupo de pesquisa em Gestão da Transferência de Tecnologia (GTT). Possui MBA em Gestão Financeira e Controladoria pelo Centro de Ensino Superior dos Campos Gerais onde se graduou em Administração de Empresas (2008). É professor no ensino superior, ministrando aulas no curso de Administração da Faculdade Sagrada Família – FASF. É editor chefe na AYA Editora.

Índice Remissivo

A

aferição das temperaturas 183
armazenamento 81, 124
automação 43, 44, 45, 46, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 63, 64, 73, 112
automação industrial 43, 44, 45, 46, 53, 56, 58, 63, 73, 87, 88, 89, 92, 191, 192, 202

B

base tecnológica 13, 14, 16, 17, 18, 21
biodegradação 203, 204, 207

C

competitividade 13, 14, 16, 21, 22
conteúdo didático 191
corte de rochas 54, 55, 65, 72, 73, 74, 75

D

desenvolvidos 43, 115, 191, 192
desenvolvimento 13, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 38, 58, 65, 72, 73, 76, 80, 82, 86, 93, 94, 95, 112, 141, 142, 143, 147, 153, 154, 155, 183, 191, 193
dinâmica da roda 24
dinâmicas linearizadas 30, 32
domínio externo 176

E

ecossistema 14, 21, 208
eficiência 87, 88, 89, 91, 92
eficiência energética 44, 46, 48, 111, 124, 126, 137
eficiência operacional 46, 134, 140
energética 87, 88, 89, 91, 92
energia elétrica 39, 40, 41, 45
ensaios 132, 183, 184, 186, 190
entropia 164

ergodicidade 164
escoamento de Oseen 176
estratégias 14, 23, 137, 140

F

fatores críticos 139, 141, 142, 146, 147, 148
ferramenta 57, 65, 69, 78, 112, 123
ferramenta essencial 123, 140
ferramentas 25, 55, 57, 65, 143, 152, 154, 160, 161, 206, 225, 226, 227, 228, 231, 235, 236, 238, 243, 244
fluido invíscido 176
fluxo potencial 175

G

gestão da qualidade 147, 225, 226, 227, 231, 232, 233, 240, 244
gestão dos processos 225
gestão estratégica 140

H

habilidades 44, 53, 141, 143

I

iluminação 87, 88, 89, 90, 91, 92
indústria 18, 44, 45, 48, 53, 54, 55, 57, 62, 63, 64, 75, 78, 112, 124, 153, 156, 159, 160, 188, 192
indústrias 46, 57, 63, 78, 79, 111, 112, 124, 125, 126, 128, 131, 139, 140, 141, 143, 144, 146, 147, 148, 149
inovação 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 39, 54, 55, 86, 125, 135, 152, 153, 155
inovadoras 22, 115, 141
inteligência artificial 152, 153, 154, 155, 160
inversor de frequência 43, 45, 46, 47
isolamento 204

M

manutenção 44, 62, 64, 71, 126, 132, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 147, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161
manutenção produtiva 139
matemática 24, 25, 26, 163, 164
matemático 30, 175
meio ambiente 124, 138, 140, 143
metalmecânico 139
mineração 55, 58, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 84
modelagem matemática 24, 25, 26
motores elétricos 43, 44, 45, 46, 47, 48, 53, 112, 113, 115, 116, 117, 119

N

navegação 76, 82

O

operações industriais 62, 139
organismos xilófagos 203, 204, 207, 208, 218
otimização 25, 46, 76

P

pandemia 58, 77
parques tecnológicos 13, 14, 15, 16, 18, 19, 21, 22
pluviômetro 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 108
práticas 14, 44, 53, 55, 112, 121, 122, 124, 125, 137, 139, 141, 144
precipitação 93, 94, 95, 96, 97, 98, 104, 105, 108
pressão topológica 164
processo 15, 16, 19, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 64, 65, 67, 69, 70, 71, 72, 74, 80, 81, 99, 102, 108, 112, 113, 125, 126, 134, 135, 140, 143, 158, 185, 192, 195, 200, 201, 213, 214, 225, 226, 227, 228, 230, 231, 232, 233, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245

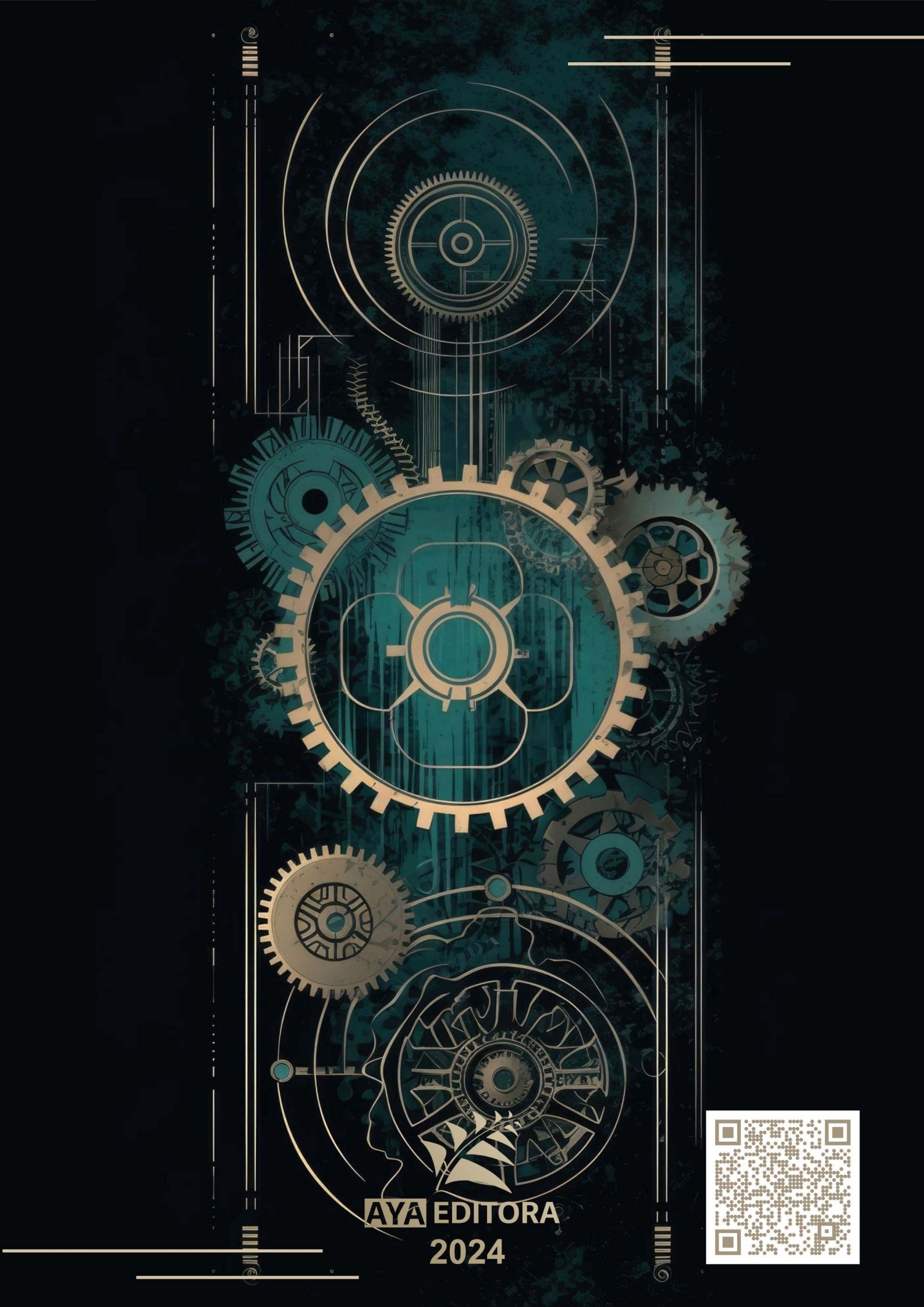
processo de ensino 112
processo de manutenção 140
processos de produção 140, 144
processos industriais 44, 45, 46
python 183, 184

S

segurança 45, 46, 47, 55, 56, 59, 60, 62, 64, 65, 69, 71, 73, 80, 111, 113, 118, 119, 126, 140, 143, 144
serviços de qualidade 225, 235
sistema 5, 18, 24, 26, 35, 36, 41, 46, 54, 57, 59, 62, 69, 72, 73, 76, 81, 83, 84, 85, 86
sistema convencional 124, 137
sistema de controle 41, 114, 192
sistema de energia 93
sistema propulsionado 54
sistemas automatizados 45, 59, 64, 192
sistemas caóticos 164
sistemas dinâmicos 24, 36, 41, 163, 164
sistemas mecânicos 25
soft starters 112, 115, 119
software 35, 58, 64, 68, 84, 86, 94, 95, 97, 98, 158, 183, 184, 185, 187, 188, 190
supervisório 93
sustentabilidade 87, 88, 89, 91, 92
sustentabilidade ambiental 44

T

tecnologia 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 25, 44, 46, 54, 59, 76, 78, 80, 86, 94, 95, 112
tecnologias 14, 21, 44, 45, 53, 87, 88, 89, 90, 92
temperatura 59, 60, 64, 108, 118, 159, 183, 184, 189, 190
turbulência em fluidos 164



AYA EDITORA

2024