

Aderjane Ferreira Lacerda
Organizadora

ENGENHARIAS E OS ESTUDOS CONTEMPORÂNEOS

Vol. 01

São José dos Pinhais

BRAZILIAN JOURNALS PUBLICAÇÕES DE PERIÓDICOS E EDITORA

2023



Aderjane Ferreira Lacerda
(Organizadora)

**Engenharias e os estudos
contemporâneos**

Vol. 01

Brazilian Journals Editora
2023

2023 by Brazilian Journals Editora
Copyright © Brazilian Journals Editora
Copyright do Texto © 2023 Os Autores
Copyright da Edição © 2023 Brazilian Journals Editora
Editora Executiva: Barbara Luzia Sartor Bonfim Catapan
Diagramação: Aline B. Coelli
Edição de Arte: Aline B. Coelli
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos livros e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial:

Prof^a. Dr^a. Fátima Cibele Soares - Universidade Federal do Pampa, Brasil
Prof. Dr. Gilson Silva Filho - Centro Universitário São Camilo, Brasil
Prof. Msc. Júlio Nonato Silva Nascimento - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Brasil
Prof. Msc. Ricardo Sérgio da Silva - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil
Prof. Esp. Haroldo Wilson da Silva - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil
Prof. Dr. Orlando Silvestre Fragata - Universidade Fernando Pessoa, Portugal
Prof. Dr. Orlando Ramos do Nascimento Júnior - Universidade Estadual de Alagoas, Brasil
Prof^a. Dr^a. Angela Maria Pires Caniato - Universidade Estadual de Maringá, Brasil
Prof^a. Dr^a. Genira Carneiro de Araujo - Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. José Arilson de Souza - Universidade Federal de Rondônia, Brasil
Prof^a. Msc. Maria Elena Nascimento de Lima - Universidade do Estado do Pará, Brasil
Prof. Caio Henrique Ungarato Fiorese - Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil
Prof^a. Dr^a. Silvana Saionara Gollo - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Brasil
Prof^a. Dr^a. Mariza Ferreira da Silva - Universidade Federal do Paraná, Brasil
Prof. Msc. Daniel Molina Botache - Universidad del Tolima, Colômbia
Prof. Dr. Armando Carlos de Pina Filho - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima, Brasil
Prof^a. Msc. Juliana Barbosa de Faria - Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
Prof^a. Esp. Marília Emanuela Ferreira de Jesus - Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof. Msc. Jadson Justi - Universidade Federal do Amazonas, Brasil
Prof^a. Dr^a. Alexandra Ferronato Beatrice - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Brasil
Prof^a. Msc. Caroline Gomes Mâcedo - Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Dilson Henrique Ramos Evangelista - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil
Prof. Dr. Edmilson Cesar Bortoletto - Universidade Estadual de Maringá, Brasil



Ano 2023

Prof. Msc. Raphael Magalhães Hoed - Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil

Prof^a. Msc. Eulália Cristina Costa de Carvalho - Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Prof. Msc. Fabiano Roberto Santos de Lima - Centro Universitário Geraldo di Biase, Brasil

Prof^a. Dr^a. Gabrielle de Souza Rocha - Universidade Federal Fluminense, Brasil

Prof. Dr. Helder Antônio da Silva, Instituto Federal de Educação do Sudeste de Minas Gerais, Brasil

Prof^a. Esp. Lida Graciela Valenzuela de Brull - Universidad Nacional de Pilar, Paraguai

Prof^a. Dr^a. Jane Marlei Boeira - Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Brasil

Prof^a. Dr^a. Carolina de Castro Nadaf Leal - Universidade Estácio de Sá, Brasil

Prof. Dr. Carlos Alberto Mendes Moraes - Universidade do Vale do Rio do Sino, Brasil

Prof. Dr. Richard Silva Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul Rio Grandense, Brasil

Prof^a. Dr^a. Ana Lúcia Tonani Tolfo - Centro Universitário de Rio Preto, Brasil

Prof. Dr. André Luís Ribeiro Lacerda - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Prof. Dr. Wagner Corsino Enedino - Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Prof^a. Msc. Scheila Daiana Severo Hollveg - Universidade Franciscana, Brasil

Prof. Dr. José Alberto Yemal - Universidade Paulista, Brasil

Prof^a. Dr^a. Adriana Estela Sanjuan Montebello - Universidade Federal de São Carlos, Brasil

Prof^a. Msc. Onofre Vargas Júnior - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Brasil

Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia da Silva de Oliveira - Universidade do Estado do Pará, Brasil

Prof^a. Dr^a. Leticia Dias Lima Jedlicka - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Brasil

Prof^a. Dr^a. Joseina Moutinho Tavares - Instituto Federal da Bahia, Brasil

Prof. Dr. Paulo Henrique de Miranda Montenegro - Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Prof. Dr. Claudinei de Souza Guimarães - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Prof^a. Dr^a. Christiane Saraiva Ogradowski - Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

Prof^a. Dr^a. Celeide Pereira - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

Prof^a. Msc. Alexandra da Rocha Gomes - Centro Universitário Unifacvest, Brasil

Prof^a. Dr^a. Djanavia Azevêdo da Luz - Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Prof. Dr. Eduardo Dória Silva - Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Prof^a. Msc. Juliane de Almeida Lira - Faculdade de Itaituba, Brasil

Prof. Dr. Luiz Antonio Souza de Araujo - Universidade Federal Fluminense, Brasil

Prof. Dr. Rafael de Almeida Schiavon - Universidade Estadual de Maringá, Brasil

Prof^a. Dr^a. Rejane Marie Barbosa Davim - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Prof. Msc. Salvador Viana Gomes Junior - Universidade Potiguar, Brasil

Prof. Dr. Caio Marcio Barros de Oliveira - Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Brasil

Prof^a. Dr^a. Ercilia de Stefano - Universidade Federal Fluminense, Brasil

Prof. Msc. Marcelo Paranzini - Escola Superior de Empreendedorismo, Brasil

Prof. Msc. Juan José Angel Palomino Jhong - Universidad Nacional San Luis Gonzaga - Ica, Perú

Prof. Dr. Edson da Silva - Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil

Prof. Dr. João Tomaz da Silva Borges - Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Brasil



Ano 2023

Profª Drª Consuelo Salvaterra Magalhães - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. José Gpe. Melero Oláquez - Instituto Tecnológico Nacional de México, Cidade do México
Prof. Dr. Adelcio Machado - Universidade Alto Vale do Rio do Peixe, Brasil
Profª Drª Claudia da Silva Costa - Centro Universitário Planalto do Distrito Federal, Brasil
Profª. Msc. Alicia Ravelo Garcia - Universidad Autónoma de Baja California, México
Prof. Dr. Artur José Pires Veiga - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Brasil
Profª Drª María Leticia Arena Ortiz - Universidad Nacional Autónoma de México, México
Profª Drª Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - IFG, Brasil
Profª Drª Muriel Batista Oliveira - Faculdade de Ciências Contábeis de Nova Andradina, Brasil
Prof. Dr. José Amilton Joaquim - Universidade Eduardo Mondlane, Brasil
Prof. Msc. Alceu de Oliveira Toledo Júnior - Universidade estadual de Ponta Grossa, Brasil
Prof. Dr. Márcio Roberto Rocha Ribeiro - Universidade Federal de Catalão, Brasil
Prof. Dr. Alecson Milton Almeida dos Santos - Instituto Federal Farroupilha, Brasil
Profª. Msc. Sandra Canal - Faculdade da Região Serrana, Brasil

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
L357e Lacerda, Aderjane Ferreira Engenharias e os estudos contemporâneos / Aderjane Ferreira Lacerda. São José dos Pinhais: Editora Brazilian Journals, 2023. 421 p. Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui: Bibliografia ISBN: 978-65-6016-020-0. 1. Tecnologia. 2. Ciência. I. Lacerda, Aderjane Ferreira II. Título

Brazilian Journals Editora
São José dos Pinhais – Paraná – Brasil
www.brazilianjournals.com.br
editora@brazilianjournals.com.br

APRESENTAÇÃO

Primeiramente, sejam bem-vindos a este livro. É com grata satisfação que apresento à toda comunidade científica mais uma edição do livro do *Brazilian Journal of Development*. Esta edição contará com dezessete capítulos que versarão sobre avanços tecnológicos observados em várias áreas do conhecimento, divulgados por autores e cientistas das mais diversas partes do mundo.

A obra tem como objetivo apresentar uma visão geral e multidisciplinar de temas relevantes que poderão ser aproveitados por pesquisadores, professores, dentre outros profissionais que estejam, direta ou indiretamente, ligados a cada um dos assuntos abordados ao longo do livro. Para além disso, o leitor poderá saborear a obra sob demanda, escolhendo qual ou quais capítulos são mais relevantes para si. Neste sentido, vale a pena a leitura de todos os dezoito capítulos, todos são muito relevantes.

Por fim, agradeço à BJD publicações pelo convite para apresentar esta obra de grande relevância, ressaltando, ainda, o profundo respeito que tive por participar como autora de dois capítulos, frutos de um trabalho de difusão de conhecimento científico e capacitação de alunos, preparando-os, para o mercado de trabalho altamente competitivo. Sendo assim, caro(a) leitor(a), meu desejo é que possam aproveitar ao máximo e se deleitar com o conteúdo deste livro. Para todos e todas.... Boa leitura!

Profa. Dra. Aderjane Ferreira Lacerda
Chefe do Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal de São João del Rei
DEQUI/CAP/UFSJ

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01	10
IDENTIFICAÇÃO DE CAROTENOIDES E ATIVIDADE BIOLÓGICA DO EXTRATO AQUOSO DE <i>PLECTRANTHUS BARBATUS</i>	
Altevir Rossato Viana	
Mariana Reimann	
James Eduardo Lago Londero	
Pricila Nass Pinheiro	
Katianne Wolf	
Leila Queiroz Zepka	
Eduardo Jacob-Lopes	
Aline Ferreira Ourique	
Fabiane Budel	
Camila Franco	
DOI: 10.35587/brj.ed.0002263	
CAPÍTULO 02	27
METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN FORMATIVA MEDIANTE RÚBRICAS PARA ESTUDIANTES DE LA PRIMARIA ROBERTO MEDELLÍN A TRAVÉS DE HERRAMIENTAS DIGITALES	
Elizabeth Montoya Flores	
Viviana Michell Campbell Rodríguez	
DOI: 10.35587/brj.ed.0002264	
CAPÍTULO 03	166
CSMA PROTOCOL PERFORMANCE WITH DYNAMIC SPREADING FACTOR IN LPWAN NETWORKS WITH LORA RF TRANSCEIVERS	
Luis Miguel Rego Pires	
DOI: 10.35587/brj.ed.0002265	
CAPÍTULO 04	177
STRATEGIES TO REDUCE POWER CONSUMPTION IN PICO-SATELLITES	
Luis Miguel Rego Pires	
DOI: 10.35587/brj.ed.0002266	
CAPÍTULO 05	189
IMPORTANCE OF THE EFFECTS OF SPREADING FACTOR INTERFERENCE IN COLLISIONS LORA RADIO INTERFACE	
Luis Miguel Rego Pires	
DOI: 10.35587/brj.ed.0002267	
CAPÍTULO 06	200
CONSTRUÇÃO DE UM ROBÔ MÓVEL PARA ENSINO DAS DISCIPLINAS DOS CURSOS DE ENGENHARIA	
Thiago Rodrigues Garcia	
Ricardo Lago Valente	
Ricardo Dias Schirmer	
Junior Costa de Jesus	
Bruno Schuster	
Marlon Berber Severo	

David Roy Richards
Carlos C. Conrad
Rodrigo da Silva Guerra
Rodrigo Mattos da Silva
Daniel Fernando Tello Gamarra
DOI: 10.35587/brj.ed.0002268

CAPÍTULO 07 214

THE CAUSES OF THE BEHAVIOR AND ORIGIN OF CHARGING CARRIERS CURRENT AND NANO AND MICROSTRUCTURE THROUGH THE LAYERS ON METALLIC BIOMATERIALS WITH OR NOT TITANIUM BASE: AN ESSAY AND A NEW PERSPECTIVE THROUGH A REVIEW

José Félix Estanislau da Silva
DOI: 10.35587/brj.ed.0002269

CAPÍTULO 08 243

ÓLEOS ESSENCIAIS NO CONTROLE DE PRAGAS DO CAJUEIRO

Raimundo Braga Sobrinho
Antonio Lindemberg Martins Mesquita
Maria do Socorro Cavalcante de Sousa Mota
DOI: 10.35587/brj.ed.0002270

CAPÍTULO 09 262

ESSENTIAL OILS ON THE CONTROL OF MELON LEAFMINER

Raimundo Braga Sobrinho
Maria do Socorro Cavalcante de Sousa Mota
DOI: 10.35587/brj.ed.0002271

CAPÍTULO 10 278

UMA PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE ROBÔS MODULARES

Anselmo Rafael Cukla
Rafael Crespo Izquierdo
Eduardo André Perondi
Flavio José Lorini
José Barata
DOI: 10.35587/brj.ed.0002272

CAPÍTULO 11 298

RESISTÊNCIA À FADIGA DE ESPÉCIMES RETIRADOS DE UM TUBO DE AÇO API 5CT N80Q SOLDADO PELO PROCESSO HF/ERW

Marcelino Pereira do Nascimento
DOI: 10.35587/brj.ed.0002273

CAPÍTULO 12 314

DATA CENTER E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

José Luiz Romero de Brito
Patrícia Helena Iara dos Santos Matai
Mario Roberto dos Santos
DOI: 10.35587/brj.ed.0002274

CAPÍTULO 13 328

A GEOMETRIA UTILIZADA COMO INSTRUMENTO DE CONCEPÇÃO PROJETUAL
Mônica Maria Fernandes de Lima
DOI: 10.35587/brj.ed.0002275

CAPÍTULO 14 341

EXISTENCE OF SOLUTION OF A NONLINEAR ELLIPTIC COUPLED SYSTEM

Milton Milciades Cortez Gutiérrez

José Simeón Quique Broncano

DOI: 10.35587/brj.ed.0002276

CAPÍTULO 15 352

USO DA CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS) PARA VERIFICAR O DESEMPENHO DE COLETA DE PARTÍCULAS DE UM CICLONE UTILIZADO PARA FILTRAÇÃO DE GASES

Laryssa Ellem Nascimento Braz

Maria Júlia Rodrigues Rocha

Aderjane Ferreira Lacerda

Reimar de Oliveira Lourenço

DOI: 10.35587/brj.ed.0002277

CAPÍTULO 16 371

ANÁLISE DE RISCOS DE UM REATOR LEITO FIXO EMPREGADO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ACETONA VIA DESIDROGENAÇÃO DO ISOPROPANOL PELO MÉTODO HAZOP E ÁRVORE DE EVENTOS

Mikaela Polyana Andrade Silva

Renata Cristina Felix da Rocha

Aderjane Ferreira Lacerda

Reimar de Oliveira Lourenço

DOI: 10.35587/brj.ed.0002278

CAPÍTULO 17 391

ESTUDO DA ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE CITRONELA, ALECRIM, CANELA, ORÉGANO E EUCALÍPTO

Ana Cecília Cerri

Luis Antonio Esmerino

DOI: 10.35587/brj.ed.0002280

CAPÍTULO 18 403

WOODCHIPS MOISTURE ESTIMATION IN INDUSTRIAL LINES BY CAPACITIVE METHOD

Elisa Pizzaia Goltz Kumov

Victor Gonçalves Cremonez

DOI: 10.35587/brj.ed.0002281

SOBRE A ORGANIZADORA 420

CAPÍTULO 01

IDENTIFICAÇÃO DE CAROTENOIDES E ATIVIDADE BIOLÓGICA DO EXTRATO AQUOSO DE *PLECTRANTHUS BARBATUS*

Altevir Rossato Viana

Programa de Pós-graduação em Nanociências, Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, Brasil.

Mariana Reimann

Curso de Medicina, Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, Brasil.

James Eduardo Lago Londero

Programa de Pós-graduação em Ciências Biológicas: Bioquímica Toxicológica, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil.

Pricila Nass Pinheiro

Departamento de Tecnologia e Ciências de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil.

Katianne Wolf

Programa de Pós-graduação em Nanociências, Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, Brasil.

Leila Queiroz Zepka

Departamento de Tecnologia e Ciências de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil.

Eduardo Jacob-Lopes

Departamento de Tecnologia e Ciências de Alimentos, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Brasil.

Aline Ferreira Ourique

Programa de Pós-graduação em Nanociências, Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, Brasil.

Fabiane Budel

Curso de Medicina, Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, Brasil.

Camila Franco

Mestrado em Ciências da Saúde e da Vida, Universidade Franciscana (UFN), Santa Maria, Brasil.

RESUMO: No passado as plantas medicinais constituíam o único recurso terapêutico para tratar doenças e foi a partir do conhecimento popular que foram descobertos inúmeros fármacos utilizados atualmente. Na América Latina, em especial no Brasil, existe uma enorme diversidade vegetal. Vários são os vegetais utilizados como fitoterápicos, mas destaca-se o *Plectranthus barbatus*, conhecido popularmente como “boldo”, no qual as informações técnico-científicas são escassas. Dessa maneira, avaliamos a presença dos bioativos da classe dos carotenoides através da

cromatografia líquida de alto desempenho com detecção de matriz de fotodiodos e atividade antioxidante pelos ensaios 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) e 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico (ABTS). A toxicidade foi mensurada pelo ensaio 3- (4,5-dimetiltiazol-2-il) -2,5-brometo de difeniltetrazólio (MTT) em quatro diferentes linhagens celulares HaCat, 293T, L929 e RAW 264.7. A genotoxicidade foi avaliada em DNA plasmidial, através da quebra de fita simples e oxidação de pares de base. Foram encontrados 8 diferentes carotenoides, além de importante atividade antioxidante. As células apresentaram sensibilidade principalmente nas maiores concentrações do extrato aquoso, porém não foram detectados danos em nível de DNA. Conclui-se que o uso de plantas medicinais deve ser utilizado com cuidado para que os efeitos deletérios não sobreponham os benéficos.

PALAVRAS-CHAVE: Plantas Medicinais; *In Vitro*; Antioxidantes; Citotoxicidade; Genotoxicidade.

1. INTRODUÇÃO

Os referenciais históricos quanto ao uso de plantas medicinais, como alimento ou remédio para tratamento de diversas patologias, estão relacionados à evolução da humanidade (VEERESHAM, 2021). No Brasil a utilização de plantas medicinais foi influenciada, principalmente, pelas culturas indígena e africana (IBIAPINA *et al.*, 2014). Os índios conheciam a biodiversidade da fauna e da flora e seus benefícios, o que garantia a alimentação e cuidados com a saúde (GIULIETTI *et al.*, 2005). Do mesmo modo, os africanos trouxeram consigo uma gama de conhecimentos e tradições referentes à utilização de plantas e suas propriedades farmacológicas (VIEGAS; BOLZANI; BARREIROS, 2006).

As plantas têm sido historicamente utilizadas como medicamentos para o tratamento de diversas doenças, apresentando uma melhor percepção e tolerância por parte dos pacientes (VEERESHAM, 2021). A Organização Mundial da Saúde revela que 85% das pessoas usam plantas medicinais para tratar doenças (SOUZA *et al.*, 2021). Podemos salientar que mesmo com a evolução técnica e científica, ampla modernização dos laboratórios de pesquisa e fabricação de medicamentos, a indicação e uso de plantas medicinais, seja para cuidar da saúde, seja pela cultura ou hábitos de determinada região, se faz presente na vida de grande parte da população (BRASILEIRO *et al.*, 2008).

Plectranthus barbatus (Lamiaceae) é uma planta encontrada na Ásia, Austrália, África e América do Sul, localiza-se principalmente nas regiões tropicais e subtropicais desses países (MOTHANA *et al.*, 2014). *P. barbatus* é uma espécie mais utilizada na medicina tradicional brasileira, conhecida popularmente como boldo-de-jardim (BRITO *et al.*, 2018).

P. barbatus é preparado através da maceração de suas folhas ou em infusão (como chá) para distúrbios digestivos, gástricos, hepáticos e nervosos (ALVES *et al.*, 2009). Costa (2006) revisou a literatura publicada entre 1970 e 2003 e relacionou ações analgésica, hipotensora, inotrópica positiva, cardiovascular, broncodilatadora, ativadora da adenilato ciclase, inibidora da agregação plaquetária, antitumoral, antinociceptiva e anti-inflamatória.

Como todas as plantas, o *P. barbatus* possui muitos compostos ativos em sua constituição e se usado indiscriminadamente ou em dosagens excessivas, pode ser prejudicial à saúde (DUBEY *et al.*, 1981). Em relação à toxicologia, o fato de ser uma

planta profundamente enraizada na cultura popular, tem levantado muitas questões acerca da segurança de seu uso. Os primeiros estudos *in vivo* dos efeitos adversos de extratos etanólicos, metanólicos e aquosos de *P. barbatus*, constataram indícios de ação abortiva, hepatotoxicidade, nefrotoxicidade e carcinogenicidade. Tais levantamentos corroboram o uso popular desta planta para interromper a gravidez e salientam o problema do consumo imprudente dessa planta (MENGUE *et al.*, 2001).

Diante do exposto, através da pesquisa experimental, identificou-se os carotenóides presentes no extrato de *P. barbatus* e o potencial antioxidante do mesmo, bem como efeitos citotóxicos em diferentes linhagens celulares normais visando reduzir riscos da administração dessa espécie no dia a dia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação do extrato

Neste estudo, o extrato da planta *P. barbatus* (Dermapelle) foi utilizado para avaliar sua composição carotenoide, atividade antioxidante, citotoxicidade e genotoxicidade. O pó (10 g) foi pesado e transferido para béquer contendo água ultrapura (100 mL) à temperatura ambiente. O material foi agitado a 100 rpm em agitador por 24 horas. Em seguida, o extrato foi filtrado por meio de membranas de acetato de celulose de 0,22 µm e utilizados para os experimentos (AL-MANHEL *et al.*, 2015).

2.2 Extração de carotenoides

Os carotenoides foram extraídos exaustivamente da amostra liofilizada ($0,1 \pm 0,02$ g) com acetato de etila, seguido de metanol em almofariz com pilão e centrifugado (Hitachi, Tóquio, Japão) por 7 min a $1500 \times g$ (MANDELLI *et al.*, 2012). O procedimento de extração foi repetido até que o sobrenadante se tornasse incolor. A suspensão da amostra homogeneizada foi concentrada em um evaporador rotativo ($T < 30^\circ\text{C}$), suspenso em uma mistura de éter de petróleo/éter dietílico [1:1 (v/v)] e saponificado durante a noite (16 h) com 10% (p/v) KOH metanólico à temperatura ambiente. O álcali foi removido por lavagem com água destilada e o extrato foi novamente concentrado em um evaporador rotativo, lavado com N_2 e mantido a -37°C no escuro até a análise cromatográfica. Todas as extrações foram realizadas em triplicata.

2.3 Caracterização por HPLC-PDA-MS/MS

Foi utilizado cromatografia líquida de alto desempenho (HPLC, Shimadzu, Kyoto, Japão) com detecção de matriz de fotodiodos (PDA, modelo SPD-M20A) conectada a uma fonte de ionização química à pressão atmosférica (APCI) (Shimadzu America, Columbia, MD, EUA) e um espectrômetro de massa Shimadzu 8040 triplo quadrupolo foi utilizado para caracterizar a composição de carotenóides presentes no extrato de *P. barbatus*.

O aparato foi equipado com bombas binárias (modelo LC-20AD), desgaseificador online e injetor automático (Rheodyne, Rohnert Park-CA, EUA). Para a separação cromatográfica, foi utilizada uma coluna C30 YMC (5 μ m, 250 $\times$ 4,6 mm, Waters, Wilmington-DE, EUA) de acordo com o método HPLC-PDA realizado por Rodrigues et al. (2015).

O extrato contendo os carotenoides foi primeiramente solubilizado em metanol (MeOH): éter metil terc-butílico (MTBE) (70:30 v/v) e filtrado através de membranas 0,22 μ m (Millipore) para frascos antes da injeção. O sistema consistiu de uma fase móvel composta por MeOH (A) e MTBE (B) aplicando um gradiente de 0 a 30 min com 5% de B; de 30 a 40 min com 5-30% de B; de 40 a 41 min com 30-50% de B e de 41 a 50 min com 50 a 5% de B, com vazão de 0,9 mL min⁻¹ e volume de injeção de 20 μ L com temperatura de coluna de 22°C. O comprimento de onda aplicado ficou entre 220 e 700 nm, tendo os cromatogramas processados a 450 nm.

A análise MS/MS foi realizada de acordo com Giuffrida et al. (2017) com adaptações, a interface APCI operou no modo positivo (+); tensão do detector de 5,0 kV; temperatura de interface de 350 °C; Temperatura DL de 250 °C; temperatura do bloco térmico de 200 °C; vazão do gás nebulizador (N₂) de 3,0 L min⁻¹; vazão do gás de secagem (N₂) de 5,0 L min⁻¹; gás de dissociação induzida por colisão (CID) de 23 kPa (árgon); tempo de evento de 0,5 s. O MS/MS foi usado simultaneamente nos modos SIM (Select Ion Monitoring) e MRM (Multiple Reaction Monitoring) para melhorar a qualidade da identificação. Para a identificação, foi empregada uma ordem de eluição em coluna C30 HPLC, co-cromatografia com padrões autênticos, espectro UV-Vis (Estrutura espectral fina ($\lambda_{\text{máx}}$), razão entre a altura do pico de absorção de maior comprimento de onda (III) e a do pico de absorção médio (II), razão entre o pico cis (AB) e o pico de absorção médio (II)) e características de massa (molécula

protonada ($[M^+H]^+$) e fragmentos MS/MS), em comparação com os dados disponíveis na literatura (RODRIGUES *et al.*, 2015; ZEPKA; MERCADANTE, 2009).

2.4 Ensaios antioxidantes

DPPH

O método de eliminação do DPPH foi realizado conforme descrito por Brand-Williams *et al.* (1995), atualizado por Roesler *et al.* (2007), com adaptações. Inicialmente, foi elaborada uma curva com diferentes concentrações de extrato aquoso de *P. barbatus* (25, 50, 75, 100, 125 e 150 $\mu\text{g mL}^{-1}$) e um controle com metanol, adicionado 85,7 μL de DPPH para cada 214,3 μL de amostra. Essas amostras foram incubadas por 25 minutos sob proteção da luz e a leitura da absorbância foi realizada em leitor de microplacas (SpectraMax® i3x – Molecular Devices) com comprimento de onda de 517 nm. A concentração efetiva para reduzir 50% de radicais livres (IC_{50}) foi determinada a partir da porcentagem.

ABTS

O método indireto de eliminação de radicais ABTS foi realizado conforme descrito por Re *et al.* (1999), com adaptações. Para cada 30 μL das diferentes concentrações de extrato aquoso de *P. barbatus*, foram adicionados 3 μL de ABTS. Estas foram incubadas por 6 minutos sob proteção da luz e a leitura da absorbância foi realizada em leitor de microplacas (SpectraMax® i3x - Molecular devices) com comprimento de onda de 734 nm. A concentração efetiva para reduzir 50% de radicais livres (IC_{50}) foi determinada a partir da porcentagem.

2.5 Cultura celular

As linhagens celulares 293T (rim humano), HaCat (queratinócitos humano), L929 (fibroblastos murino) e RAW 264.7 (macrófagos murino) foram adquiridas do Banco de células do Rio de Janeiro (BCRJ, Rio de Janeiro, Brasil). As linhagens foram mantidas em meio de cultura *Dulbecco's Modified Eagle Medium* (DMEM, suplementados com 10% de soro fetal bovino e 1% de penicilina/streptomicina para

evitar contaminações. Garrafas de poliestireno com 25cm² de área, foram utilizadas para expansão celular incubadas a uma temperatura de 37°C, em estufa com atmosfera umidificada e 5% de CO₂. Os meios de cultura foram substituídos a cada 2-3 dias, de acordo com o metabolismo do tipo celular.

Ensaio MTT

O ensaio de MTT é padrão ouro para avaliar viabilidade e proliferação celular desde 1980 (Mosmann, 1980). Foi realizada uma curva de concentração-resposta para avaliar o efeito do *P. barbatus* em células das linhagens HaCat, 293T, L929 e RAW 264.7. Após 24h de incubação, foi adicionado 20 µL do reagente MTT (5 mg mL⁻¹) solubilizado em tampão fosfato-salino estéril e mantido na estufa de CO₂ por 4h. Por fim, o sobrenadante foi retirado e adicionado 200 µL de dimetilsulfóxido (DMSO) para leitura da absorbância a 570 nm.

2.6 Avaliação de genotoxicidade

A capacidade de clivagem do DNA de *P. barbatus* foi examinada após a conversão da forma de DNA superenrolado (FI) do plasmídeo para forma circular aberta relaxada (FII). Para isso, utilizamos 300 ng de pCMUT (1762 pb) de amostras de DNA do plasmídeo gentilmente cedido pelo pesquisador André Schuch. O DNA foi diluído em tampão Tris-HCl 10 mM (pH 7,0) foram misturadas com diferentes concentrações de extrato aquoso (0,1, 1, 10 mg mL⁻¹) por 60 min a temperatura ambiente. Um controle negativo foi incluído (CN, DNA sem extrato), as amostras de DNA foram então incubadas com 0,8 UI de Endonuclease III (New England Biolabs, EUA; que reconhece pirimidinas oxidadas) a 37°C por 1 h, a fim de discriminar à indução de bases de DNA oxidadas após o tratamento. O DNA também foi incubado a 37°C por 1 h sem a presença de enzimas para quantificar a quantidade de quebras de fita simples. As reações foram extintas pela adição de 3 µL de uma solução tampão de carregamento (50 mM Tris-HCl; pH 7,5; 0,01% de azul de bromofenol; 50% de glicerol; 250 mM de EDTA) e, em seguida, submetidas à migração por eletroforese em gel de agarose a 0,8% contendo UniSafe Dye® (Uniscience, Brasil) a 100 V por 3 h em tampão TBE 0,5× (44,5 mM Tris; pH 8,0; 44,5 mM; ácido bórico; 1 mM EDTA) (VIZZOTTO *et al.*, 2020).

2.7 Análise estatística

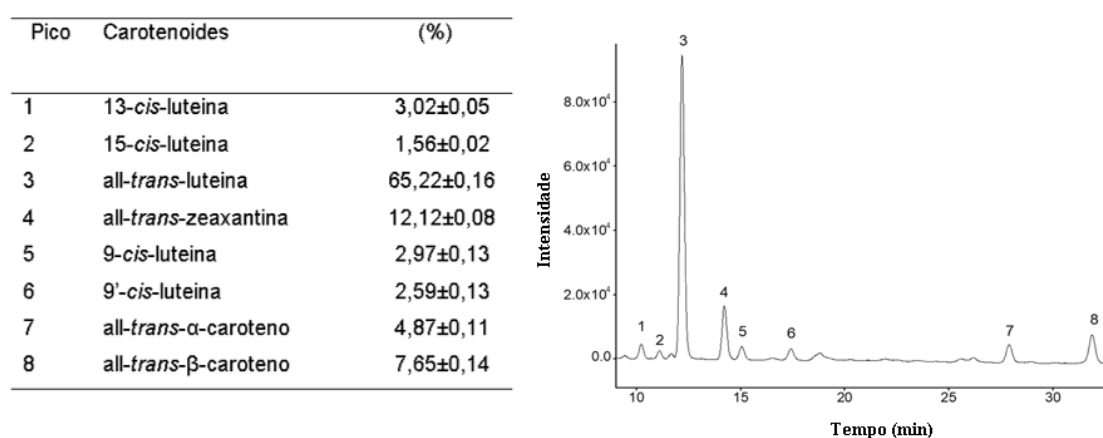
Os resultados das análises biológicas foram expressos em porcentagem de controle negativo $\pm$ desvio padrão. Os dados foram analisados estatisticamente por análise de variância fator único (ANOVA) seguido de Tukey post hoc usando o software Graphpad prism®, versão 9.0 (valores de p $^{*}<0,05$, $^{**}<0,01$ e $^{***}<0,001$ foram considerados estatisticamente significativos).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Identificação de carotenoides

Na figura 1 há a representação dos 8 diferentes picos, mostrando os seus respectivos tempos de retenção. Os carotenoides identificados no extrato aquoso de *P. barbatus* foram: (1) 13-*cis*-luteína, (2) 15-*cis*-luteína, (3) all-*trans*-luteína, (4) all-*trans*-zeaxantina, (5) 9-*cis*-luteína, (6) 9'-*cis*-luteína, (7) all-*trans*- α -caroteno e (8) all-*trans*- β -caroteno. A molécula mais representativa foi da all-*trans*-luteína ($65,22 \pm 0,16$), ao contrário, o menor foi da 15-*cis*-luteína ($1,56 \pm 0,02$).

Figura 1 – Carotenoides identificados do extrato de *P. barbatus*.



Os carotenoides desempenham um papel biológico versátil, contribuindo para inúmeros efeitos terapêuticos, incluindo anticancerígenos, imunomoduladores, anti-inflamatórios, antibacterianos, antidiabéticos e neuroprotetores (NABI *et al.*, 2020). A maioria dos carotenoides encontrados na natureza estão em suas formas all-*trans*, com poucas exceções (BLACK *et al.*, 2020). Os papéis benéficos e deletérios a saúde humana dos carotenoides dietéticos pode ocorrer devido a vários fatores, mas os

processos antioxidantes e pró-oxidantes parecem ser particularmente importantes (BERTRAM; VINE, 2005). Todavia, a ação biológica dos carotenoides em tecidos-alvo depende de seus níveis e de seus metabólitos ativos (KOTAKE-NARA; ASAI; NAGAO, 2005).

A forma e o tamanho do carotenoide afetam sua capacidade de se encaixar nas estruturas da membrana celular. A natureza dos grupos finais também é importante; por exemplo, carotenoides contendo grupos polares podem interagir com moléculas de água na interface, por exemplo, luteína e zeaxantina. Em alguns casos, eles podem atravessar a membrana, aumentando assim a rigidez e resistência mecânica das células (LAZRAK *et al.*, 1987).

Existem poucos estudos que apresentam a classe dos carotenoides no gênero *Plectranthus*. Em outra espécie (*Plectranthus amboinicus*) foi identificado caroteno nas folhas da planta (SILITONGA *et al.*, 2014), em contrapartida, foram mensurados outros carotenoides, tais como neoxantina, violaxantina, leutina, zeaxantinas, α -caroteno e β -caroteno na mesma planta (ARUMUGAM *et al.*, 2016).

Além dos carotenoides mencionados no extrato do *P. barbatus*, as folhas possuem três diterpenos já identificados estruturalmente por Zelnik *et al.* (1977), que são: barbatusina, 3 β -hidroxi-3-desoxibarbatusina e ciclobutatusina. Albuquerque (2000) estudou o óleo essencial das folhas de *P. barbatus* e conseguiu identificar 94,13% de seus compostos químicos, onde de 23 compostos, nove eram monoterpenos sendo α -pineno (22,20%), mirceno (12,38%) e α -ocimeno (Z) (6,53%) como majoritários; 10 são sesquiterpenos como eremofileno (13,32%) e cariofileno (E) (8,01%); e dois deles são sesquiterpenos oxigenados como humulenona (10,01%) e óxido cariofileno (0,91%). Também foram registrados outros dois diterpenos, um não identificado com 272 dalton (3,11%) e manool (1,05%).

Atividade antioxidante do extrato P. barbatus

A quantidade necessária do extrato aquoso de *P. barbatus* para eliminar 50% dos radicais DPPH e ABTS foram $7,6 \pm 2,8 \mu\text{g mL}^{-1}$ e $4,6 \pm 1,3 \mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente.

Tabela 1 – Atividade antioxidante do extrato de *Plectranthus barbatus*.

Amostra	DPPH	ABTS
Extrato	($\mu\text{g mL}^{-1}$)	($\mu\text{g mL}^{-1}$)
	IC ₅₀	IC ₅₀
<i>P. barbatus</i>	7,6 $\pm$ 2.8	4,6 $\pm$ 1.3

A intensidade da atividade antioxidante de extratos depende da polaridade do solvente e o método utilizado para extrair os compostos bioativos (SANTOS; GONÇALVES, 2016). Silva e colaboradores (2016) avaliaram a IC₅₀ da atividade antioxidante pelo método DPPH de diferentes extratos de *P. barbatus*, tais como, acetônico (318,83 $\pm$ 21,02 $\mu\text{g mL}^{-1}$), etanólico (75,71 $\pm$ 10,57 $\mu\text{g mL}^{-1}$) e aquoso (75,71 $\pm$ 10,57 $\mu\text{g mL}^{-1}$). O extrato de *P. barbatus* apresentou significativa atividade sequestradora de radicais livres (IC₅₀ = 35,8 $\pm$ 0,27 $\mu\text{g mL}^{-1}$ no DPPH) (MAIOLI *et al.*, 2010). Os extratos de *P. barbatus* extraídos por refluxo, infusão e extração turbo, apresentaram IC₅₀ para sequestrado do radical livre ABTS de 450 $\mu\text{g mL}^{-1}$, 3.740 $\mu\text{g mL}^{-1}$ e 330 $\mu\text{g mL}^{-1}$, respectivamente (MENDONÇA, 2016). Em contrapartida, o estudo de Borges *et al.* (2020) foi necessário 26,64 $\pm$ 0,62 $\mu\text{g mL}^{-1}$ para inibir em 50% o radical ABTS.

Os antioxidantes naturais devido às suas propriedades redox, atuam como agentes redutores, doadores de hidrogênio, supressores de radicais livres e quelantes de metais, desempenhando assim um papel importante na defesa do corpo humano contra os efeitos prejudiciais dos radicais livres (WEI *et al.*, 2010).

Atividade citotóxica do *P. barbatus*.

No ensaio para avaliar a viabilidade celular é possível perceber diminuição nesse parâmetro, nas concentrações de 1000 e 3000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ na linhagem HaCat, com redução de 54,4% e 76,4% respectivamente (Fig 2.a). Entretanto, na linhagem 293T é possível notar citotoxicidade a partir da concentração de 300 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Fig 2.b). Na linhagem L929 o efeito foi ainda mais pronunciado, com o extrato aquoso de *P. barbatus* causando diminuição no número de células em 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Fig 2.c). Seguindo o mesmo padrão, na linhagem RAW 264.7, a citotoxicidade iniciou na concentração de 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (Fig 2.d).

Figura 2 – Atividade citotóxica após 24h de exposição ao extrato de *P. barbatus*.

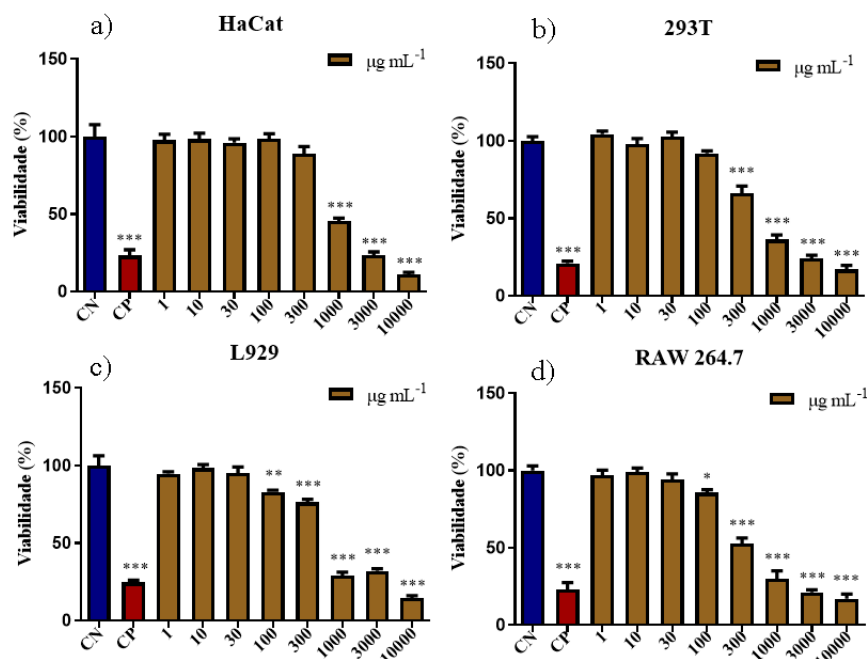


Fig.2- CN: Controle negativo; CP: Controle positivo.

Semelhante aos nossos resultados nas linhagens humanas, o extrato aquoso de *P. barbatus* foi avaliado frente a células mononucleares de sangue periférico humano e não apresentou efeito citotóxico em concentrações de 1-100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (CORDEIRO *et al.*, 2022). Porém, em outro estudo, dois diterpenos do extrato clorofórmico de *P. barbatus* demonstraram citotoxicidade frente a células de câncer de tireóide folicular a 100 $\mu\text{g mL}^{-1}$ após 72h de incubação (AMINA *et al.*, 2018) e, o extrato etanólico foi citotóxico frente a HeLa, HepG2 e HT-29. A atividade citotóxica predominou em frações hexânicas e clorofórmicas. A fração hexânica continha ferruginol, enquanto, a clorofórmica continha coleanol-B, forskolin, sugiol e 5,6-dehidrosugiol (MOTHANA *et al.*, 2019). Assim, é possível demonstrar que é necessária uma administração criteriosa das plantas medicinais devido aos seus possíveis danos à saúde.

Atividade genotóxica do *P. barbatus*

No ensaio para avaliação da genotoxicidade, a espécie vegetal não apresentou quebras de fitas simples, assim como, não oxidou o DNA plasmidial.

Figura 3 - Avaliação de danos fita simples e oxidativos no DNA plasmidial.

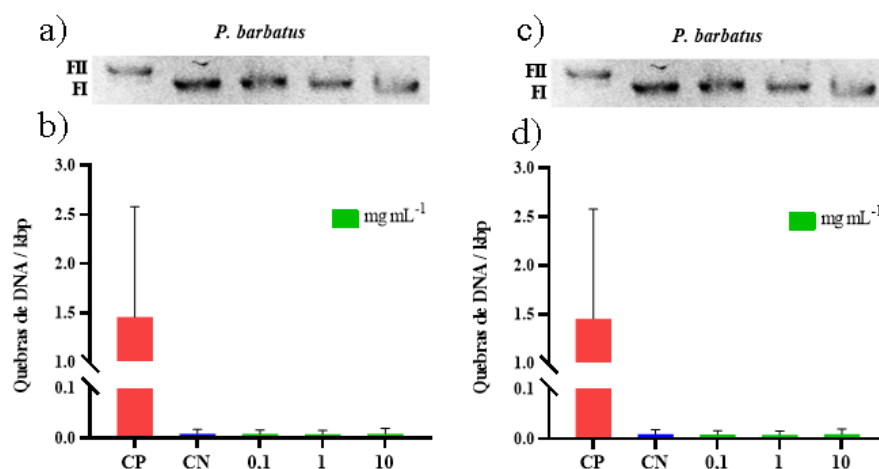


Fig.3- CN: Controle negativo; CP: Controle positivo.

A pesquisa por moléculas antioxidantes naturais presentes em plantas tem recebido grande atenção, pois efetivamente diminuem os danos da oxidação do DNA, reduzindo as concentrações de espécies reativas do oxigênio (EROs) (BELLION *et al.*, 2010). No entanto, Investigações realizadas *in vitro* têm demonstrado que muitas plantas utilizadas na medicina tradicional apresentam efeitos genotóxicos, fato preocupante e que serve de alerta (PINHO *et al.*, 2010). O ensaio cometa não detectou danos em nível de DNA do extrato de *P. barbatus* incubado com linfócitos humanos nas concentrações de 250, 500 e 1000 $\mu\text{g mL}^{-1}$ (ROCHA, 2016).

O extrato aquoso de folhas secas de *P. barbatus* foi avaliado quanto ao potencial de genotoxicidade pelo teste *Allium cepa* e demonstrou que os extratos preparados por infusão e decocção aumentaram o número de divisões celulares, porém não foram genotóxicos (TRAP *et al.*, 2020). Em contrapartida, a infusão de *P. barbatus* causou efeitos mutagênicos em altas concentrações no modelo *Allium cepa* (FROTA *et al.*, 2019).

3. CONCLUSÃO

Este capítulo reportou 8 carotenoides presentes no extrato aquoso de *P. barbatus*, além da importante atividade antioxidante da planta através do sequestro de dois radicais livres diferentes. Assim como, foi demonstrado a citotoxicidade nas maiores concentrações da planta frente as 4 linhagens testadas. Apesar disso, o extrato não apresentou danos em nível de DNA, quando testado diretamente no

plasmídeo. Conclui-se que o extrato de *P. barbatus* será melhor aproveitado quando ministrado em concentrações baixas 1-100 $\mu\text{g mL}^{-1}$, evitando assim, morte celular pelo excesso de compostos antioxidantes.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, R.L. Contribuição ao estudo químico de plantas medicinais do Brasil: *Plectranthus barbatus* Andr. *Plectranthus amboinicus* (Lour) Spreng. 2000. 166p. Dissertação (Mestrado em Química Orgânica) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- Al-Manhel AJ, Niamah AK. Effect of aqueous and alcoholic plant extracts on inhibition of some types of microbes and causing spoilage of food. *Pak. J. food sci.* 2015;25:104-109. DOI:10.4172/2155-9600.S5-006
- Alves, E. M.; Cruz, M. P. da; Messeder, J. C. Os saberes populares na utilização do boldo (*Plectranthus barbatus* Andrews – Lamiaceae) como fitoterápico nos distúrbios gástricos e hepáticos. *Ciência em Tela*, v. 2, n. 1, p. 1-8, 2009.
- Amina, M., Al-Musayeib, N.M., Alam, P., Aleanizy, F.S., Alqahtni, F.Y., Al-Said, M.S., Al-Rashidi, N.S., Shakeel, F. CYTOTOXIC EVALUATION AND CONCURRENT ANALYSIS OF TWO DITERPENES IN THE CHLOROFORM EXTRACT OF *PLECTRANTHUS BARBATUS* USING A VALIDATED HPTLC-UV METHOD. *Bull. Chem. Soc. Ethiop.* 2018, 32(3), 407-419.
- Arumugam, G., Swamy, M. K., Sinniah, U.R. *Plectranthus amboinicus* (Lour.) Spreng: Botanical Phytochemical, Pharmacological and Nutritional Significance. *Molecules* 2016, 21(4), 369.
- BELLION, Phillip et al. Polyphenolic apple extracts: effects of raw material and production method on antioxidant effectiveness and reduction of DNA damage in Caco-2 cells. (2010). *Journal of agricultural and food chemistry*, v. 58 (11), pp. 6636-6642.
- BERTRAM, J.S.; VINE, A.L. Cancer prevention by retinoids and carotenoids: Independent action on a common target. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 1740, p. 170–178, 2005.
- BLACK, H. S. et al. The benefits and risks of certain dietary carotenoids that exhibit both anti- and pro-oxidative mechanisms-A comprehensive review. *Antioxidants*, v. 9, p. 264, 2020.
- Borges, A.S., Minozzo, B.R., Santos, H., Ardisson, J.S., Rodrigues, R.P., Romão, W., Borges, W.S., Gonçalves, R.C.R., Beltrame, F. L., Kitagawa, R. R. *Plectranthus barbatus* Andrews as anti-*Helicobacter pylori* agente with activity Against adenocarcinoma gastric cells. *Industrial Crops & Products*, 146, 112207, 2020.
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset CLWT. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food science and Technology*. 28(1):25-30.
- BRASILEIRO, B. G. et al. Plantas medicinais utilizadas pela população atendida no "Programa de Saúde da Família", Governador Valadares, MG, Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas*, v. 44, n. 4, p. 629-636, 2008.

- BRITO, E., GOMES, E., FALÉ, P.L., BORGES, C., PACHECO, R., TEIXEIRA, V., MACHUQUEIRO, M., ASCENSÃO, L. and SERRALHEIRO, M.L.M., 2018. Bioactivities of decoctions from *Plectranthus* species related to their traditional use on the treatment of digestive problems and alcohol intoxication. *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 220, pp. 147-154.
- CORDEIRO, M.F., Nunes, T.R.S., Bezerra, F.G., Damasco, P.K.M., Silva, W.A.V., Ferreira, M.R.A., Magalhães, O.M.C., Soares, L.A.L., Cavalcanti, I.M.F., Pitta, M.G.R., Rego, J.B.M. Phytochemical characterization and biological activities of *Plectranthus barbatus* Andrews. *Brazilian Journal of Biology*. 2022, vol. 82, e236297
- COSTA, M. C. C. D. Uso popular e ações farmacológicas de *Plectranthus barbatus* Andr. (Lamiaceae): revisão dos trabalhos publicados de 1970 a 2003. *Rev. Bras. Pl. Med.*, v. 8, n. 2, p. 81-88, 2006.
- DUBEY, M.P.; SRIMAL, R.C.; NITYANAND, S. et al. Pharmacological studies on coleonol, a hypotensive diterpene from *Coleus forskohlii*. *Journal of Ethnopharmacology*, v.3, n.1, p.113, 1981.
- FROTA, R.G., AMORIM, A.S., CARNEIRO, J.K.R., OLIVEIRA, M.A.S. Cytotoxicity, genotoxicity and mutagenicity of the infusion of *Plectranthus barbatus* – Lamiaceae (holy-mallow) evaluated by the *Allium cepa* test system. *Rev. Ciênc. Méd. Biol.*, Salvador, v. 18, n. 1, p. 67-72, 2019
- Giuffrida, D., Zoccali, M., Giofre, S. V., Dugo, P., & Mondello, L. (2017). Apocarotenoids determination in *Capsicum chinense* Jacq. cv. Habanero, by supercritical fluid chromatography-triple-quadrupole/mass spectrometry. *Food chemistry*, 231, 316-323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.145>.
- GIULIETTI, A. M. et al. Biodiversidade e conservação das plantas no Brasil. *Megadiversidade*, v. 1, p. 52-61, 2005.
- IBIAPINA, W. V. et al. Inserção da fitoterapia na atenção primária aos usuários do SUS. *Revista de Ciências da Saúde Nova Esperança*, v. 12, p. 60-70, 2014.
- KOTAKE-NARA, E.; ASAI, A.; NAGAO, A. Neoxanthin and fucoxanthin induce apoptosis in PC-3 human prostate cancer cells. *Cancer letters*, v.220, n.1, p. 75–84, 2005.
- LAZRAK, T. et al. Comparison of the effects of inserted C40- and C50-terminally dihydroxylated carotenoids on the mechanical properties of various phospholipid vesicles. *Biochimica et Biophysica Acta*, v. 903, p. 132–141, 1987.
- MAIOLI, M.A., Alves, L.C., Campanini, A.L., Lima, M.C., Dorta, D.J., Groppo, M., Cavaleiro, A.J., Curti, C., Mingatto, F. E. Iron chelating-mediated antioxidante activity of *Plectranthus barbatus* extract on mitochondria. *Food Chemistry*, 122, 203-208, 2010.
- MANDELLI, F., Miranda, V. S., Rodrigues, E., & Mercadante, A. Z. (2012). Identification of carotenoids with high antioxidant capacity produced by extremophile

microorganisms. World Journal of Microbiology and Biotechnology, 28(4), 1781-1790. <https://doi.org/10.1007/s11274-011-0993-y>.

MENDONÇA, S.C. Atividades antioxidantes, anti-candida e inibitórias da lipoxigenase e alfa-amilase de espécies medicinais do gênero *Plectranthus*. Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, p.72, 2016.

MENGUE, S. S; MENTZ, L. A; SCHENKEL, E. P. Uso de plantas medicinais na gravidez; Revista Brasileira de Farmacognosia, v. 11, n. 1, p. 21-35, 2001.

MOSMANN T. Rapid colorimetric assay for cellular growth and survival: application to proliferation and cytotoxicity assays. J Immunol Methods. 1983;65:55–63.

MOTHANA, R., AL-SAID, M., AL-MUSAYEIB, N., GAMAL, A., ALMASSARANI, S., AL-REHAILY, A., ABDULKADER, M. and MAES, L., 2014. In vitro antiprotozoal activity of abietane diterpenoids isolated from *Plectranthus barbatus*. International Journal of Molecular Sciences, vol. 15, no. 5, pp. 8360-8371.

MOTHANA, R.A., Khaled, J.M., El-Gamal, A.A., Noman, O.M., Kumar, A., Alajmi, M.F., Al-Rehaily, A.J., Al-Said, M.S. Comparative evaluation of cytotoxic, antimicrobial and antioxidante activities of the crude extracts of three *Plectranthus* species grown in Saudi Arabia. Saudi Pharmaceutical Journal 27 (2019) 162–170

NABI, F., Arain, M., Rajput, N., Alagawany, M., Soomro, J., Umer, M., Soomro, F., Wang, Z., Ye, R., Liu, J. Health benefits of carotenoids and potential application in poultry industry: A review. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, v.104, p.1809-1818, 2020.

PINHO, D.S., Sturbelle, R.T., Martino-Roth, M.G., Garcias, G.L. (2010) Avaliação da atividade mutagênica da infusão de *Baccharis trimera* (Less.) DC. em teste de *Allium cepa* e teste de aberrações cromossômicas em linfócitos humanos. Revista Brasileira de Farmacognosia, Brazilian Journal of Pharmacognosy., 20, 165-170.

RE R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free radical biology and medicine. 26(9-10):1231-1237.

ROCHA, R.S. Avaliação da genotoxicidade de extratos de boldo (*Plectranthus ornatus*) e graviola (*Annona muricata*) através do ensaio cometa e do teste de micronúcleo em linfócitos humanos. Tese apresentada no Programa de Pós-graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual de Feira de Santana, 2016.

RODRIGUES, D. B., Menezes, C. R., Mercadante, A. Z., Jacob-Lopes, E., & Zepka, L. Q. (2015). Bioactive pigments from microalgae *Phormidium autumnale*. Food Research International, 77, 273-279. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.027>.

ROESLER R, Malta LG, Carrasco LC, Holanda RB, Sousa CAS, Pastore GM. 2007. Antioxidant activity of cerrado fruits. Ciência e Tecnologia de Alimentos. 27(1):53-60.

SANTOS, M.C.P., Gonçalves, E.C.B.A. Effect of different extracting solvents on antioxidant activity and phenolic compounds of a fruit and vegetable residue flour. *Scientia Agropecuaria* vol.7 no.1 Trujillo 2016

SILITONGA, M., Ilyas, S., Hutahaeen, S., Sipahutar, H. Levels of Apigenin and Immunostimulatory Activity of Leaf Extracts of Bangunbangun (*Plectranthus Amboinicus* Lour. *International Journal of Biology*; Vol. 7, No. 1; 2015

SILVA, C.F.G.1; MENDES, M.P.1; ALMEIDA, V.V.1; MICHELS, R.N.2; SAKANAKA, L.S.2; TONIN, L.T.D. Parâmetros de qualidade físico-químicos e avaliação da atividade antioxidante de folhas de *Plectranthus barbatus* Andr. (Lamiaceae) submetidas a diferentes processos de secagem. *Rev. Bras. Pl. Med.*, Campinas, v.18, n.1, p.48-56, 2016.

SOUZA, MBR., Moraes, SJV., Alvim, HGO. Boldo and its benefits in gastrointestinal diseases. *Revista JRG de Estudos Acadêmicos*, 5:15-26, 2021.

TRAPP, K.C., Hister, C.A.L., Laughinghouse, H.D., Boligon, A.A., Tedesco, S.B. Determination of phenolic compounds and evaluation of cytotoxicity in *Plectranthus barbatus* using the *Allium cepa* test. *Caryologia* 73(2): 145-153. doi: 10.13128/caryologia-947

VEERESHAM, C. (2021). Natural Products Derived from Plants As A Source Of Drugs. *Journal of Advanced Pharmaceutical Technology and Research*. <https://dx.doi.org/10.4103%2F2231-4040.104709>.

VIEGAS JR, C.; BOLZANI, V. D.; BARREIRO, E. J. Os produtos naturais e a química medicinal moderna. *Química Nova*, 326-337, 2006

Vizzotto, B.S., Dias, R.S., Iglesias, B.A., Krause, L.M.F., Viana, A.R., Schuch, A.P., 2020. DNA photocleavage and melanoma cells cytotoxicity induced by a meso-tetra-ruthenated porphyrin under visible light irradiation. *J. Photochem. Photobiol. B* 209, 111922. DOI:10.1016/j.jphotobiol.2020.111922.

WEI, Shu-Dong; ZHOU, Hai-Chao; LIN, Yi-Ming. Antioxidant activities of extract and fractions from the hypocotyls of the mangrove plant *Kandelia candel*. (2010). *International Journal of Molecular Sciences*, v. 11 (10), pp. 4080-4093

ZELNIK, R. et al. Barbatusin and cyclobutatusin, two novel diterpenoids from *Coleus barbatus* Benth. *Tetrahedron*, v.33, p.1457-67, 1977.

ZEPKA, L. Q., & Mercadante, A. Z. (2009). Degradation compounds of carotenoids formed during heating of a simulated cashew apple juice. *Food Chemistry*, 117, 28-34.

CAPÍTULO 02

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN FORMATIVA MEDIANTE RÚBRICAS PARA ESTUDIANTES DE LA PRIMARIA ROBERTO MEDELLÍN ATRAVÉS DE HERRAMIENTAS DIGITALES

Elizabeth Montoya Flores

Maestra en Innovación en Entornos Virtuales de Enseñanza y Aprendizaje

Institución: Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ)

Dirección: Av. de las Ciencias, S/N, 76230, Juriquilla, Qro

Correo electrónico: elizabethmontoya808@gmail.com

Viviana Michell Campbell Rodríguez

Maestra en Sistemas Computacionales

Institución: Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ)

Dirección: Av. de las Ciencias, S/N, 76230, Juriquilla, Qro

Correo electrónico: campbellviviana@hotmail.com

RESUMEN: El presente artículo profundiza sobre algunos conceptos básicos de evaluación, la implementación de una metodología de evaluación formativa como apoyo para la educación básica; tiene por objetivo vislumbrar aspectos sobre observar los tipos de instrumentos que utilizan los docentes para la evaluación y la utilidad de las rúbricas con herramientas digitales en la evaluación formativa para identificar su funcionalidad en la consolidación de los aprendizajes en educación primaria; será un estudio de carácter cuantitativo; se tomó como muestra a los docentes de la escuela pública federal Primaria Roberto Medellín turno matutino de la Ciudad de México en la que se realizó una encuesta a los docentes sobre el tipo de instrumentos que utilizan en su proceso evaluativo, los resultados son parciales porque sigue profundizando en el tema y pueden ser un referente para la mejora de los procesos evaluativos y atiende a las problemáticas directas en la evaluación continua.

PALABRAS CLAVE: Evaluación Formativa; Educación Primaria; Metodología De Evaluación; Rúbricas; Herramientas Digitales.

RESUMO: Este artigo aprofunda alguns conceitos básicos de avaliação, a implementação de uma metodologia de avaliação formativa como suporte para a educação básica; visa vislumbrar aspectos da observação dos tipos de instrumentos utilizados pelos professores para avaliação e a utilidade das rubricas com ferramentas digitais na avaliação formativa para identificar sua funcionalidade na consolidação da aprendizagem no ensino fundamental; será um estudo quantitativo; foram tomados como amostra os professores da escola pública federal Roberto Medellín, turno matutino primário na Cidade do México, em que se realizou uma pesquisa com os professores sobre o tipo de instrumentos que utilizam em seu processo de avaliação, os resultados são parciais porque continua a aprofundar o assunto e pode ser referência para a melhoria dos processos de avaliação e aborda problemas diretos na avaliação contínua.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação Formativa; Ensino Fundamental; Metodologia De Avaliação; Rubricas; Ferramentas Digitais.

1. INTRODUCCIÓN

De manera teórica la evaluación es uno de los procesos más enriquecedores en la enseñanza y el aprendizaje, permite emitir una valoración objetiva sobre el cumplimiento de los logros en los estudiantes, es esencial como indicador para mejoras del que hacer docente, pero en la práctica no siempre se lleva a cabo con ese propósito, en la educación primaria pocos son los docentes que tienen un seguimiento puntual de este proceso de evaluación continua; este se percibe como un requisito administrativo a cumplir más que como un elemento generador de cambio y rector de mejoras.

Diversos factores como falta de tiempo, la sobrepoblación de estudiantes que un solo docente debe atender y evaluar, así como la carencia de herramientas e instrumentos personalizados para la evaluación continua, además del desconocimiento de elementos teóricos, metodológicos y herramientas digitales para optimizar su labor, son limitantes que el docente enfrenta diariamente, para realizar una práctica plena y objetiva.

En este contexto donde la evaluación formativa pasa a segundo plano, resulta de gran interés para la educación primaria en México hacer visible su importancia; pues su potenciales infravalorando ante la sobrecarga de actividades y factores externos que otorgan mayor peso a la evaluación sumativa donde la atención se centra, evidenciando así la necesidad de generar acciones específicas que denotan el potencial de la evaluación formativa en los procesos educativos, su impacto en el uso, desarrollo y diseño de instrumentos de evaluación como las rúbricas para establecer parámetros que provean de elementos suficientes apegados a la realidad con el fin de entender todo proceso educativo que llevan a cabo sus estudiantes y mejorar sistemáticamente tanto su práctica como los resultados, realizando así una evaluación auténtica, eficaz, progresiva y funcional.

La presente investigación surge de la necesidad de otorgar a los docentes elementos metodológicos, instruccionales y tecnológicos para una evaluación formativa más cercana a la realidad mediante el uso de rúbricas de valoración con herramientas digitales que apoyen y midan el proceso formativo de los aprendizajes esperados, así como las habilidades y competencias lectoras en los estudiantes de educación primaria, a partir del desarrollo de una metodología para la evaluación formativa mediante rúbricas para estudiantes de la primaria Roberto Medellín con el

uso de herramientas digitales, siendo este el objetivo primordial a cumplir para el desarrollo de este documento; iniciando por otorgar un panorama general sobre algunos conceptos de evaluación.

2. EVALUACIÓN: DIAGNÓSTICA, FORMATIVA Y SUMATIVA

Al definir la evaluación es necesario retomar los aportes de diversos autores que permitan entender los aportes según el contexto Tyler dice que “la evaluación es una concepción compleja y diversa que ha evolucionado con el paso del tiempo para Tyler en 1950 es el proceso que determina hasta qué punto se han conseguido los objetivos educativos” (Tyler, 1950), se entiende también como parte del contexto en el que se establezca, en función de los objetivos que se pretenden lograr o por las necesidades específicas, se considera como un instrumento valioso en los procesos de enseñanza- aprendizaje, funge como guía para orientar, regular y gestionar la construcción del conocimiento, el desarrollo de las capacidades y habilidades en los aprendices, es el medio a través del cual se puede generar cambios importantes, la finalidad de la evaluación es la realizar un análisis y la congruencia con objetivos de logros a cumplir (Tyler, 1950).

Autores como García Ramos en 1989 concibe a la evaluación como una actividad o proceso sistemático en el que se identifican, recolectan y analizan datos sobre hechos educativos que tienen por objetivo dar una valoración para la toma de decisiones que tengan un impacto en la educación (García, 1989) ligado a la educación. En el 2015, Frida Díaz Barriga lo define como un acto indisociable de la educación como tarea en la que el docente recolecta datos para identificar las causas de los problemas y barreras que existen en el entorno educativo que se desenvuelve y que impactan en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

La evaluación educativa es una herramienta de gran uso dentro de los sistemas educativos de todo el mundo los textos teóricos que enmarcan su definición y que hacer han dejado a un lado la delimitación analítica que subyace en su definición y objetivo, por ello es necesario a establecer un posicionamiento epistemológico de la evaluación educativa. (Jímenez, 2019), suele vincularse al dominio de competencias metodológicas por parte del profesorado, aunque se promueve una visión formativa basada en el modelo de evaluación para el aprendizaje (Maldonado, 2018) la preocupación de los docentes para la formación continua para la producción y diseño

de instrumentos genera incertidumbre en el diseño de instrumentos y procedimientos evaluativos coherentes, en función a los objetivos de aprendizaje, lo que es responsabilidad directa al trabajo docente para el ejercicio correcto de su profesión (Maldonado, 2018) un ejercicio reflexivo en el desarrollo de instrumentos permitirá establecer la concordancia entre el instrumento y la consolidación del aprendizaje esperado.

Teóricamente hablando se sostienen las bondades del proceso de evaluación, en sus tres formas básicas, evaluación diagnóstica, formativa y sumativa que brevemente se definen a continuación:

La evaluación diagnóstica entendida como aquella que se elabora previa al proceso educativo, se realiza de manera única, permite definir y establecer parámetros de predicción para obtener una referencia sobre un grupo o individuo (Díaz F & Díaz E. 2002) apoya la identificación de condiciones previas académicas y contextuales, denota las fortalezas y áreas de oportunidad que sirven como punto de referencia para la toma de decisiones de carácter metodológico y didáctico.

La evaluación formativa está presente en la mayoría de los actuales enfoques pedagógicos existentes; en los planes y programas de estudio vigentes se resalta su importancia e impacto que aporta a los procesos educativos, quizás la mayor virtud que representa es que su función no es otorgar un valor positivo o negativo sobre el aprendizaje alcanzado, sino producir elementos que permitan a los actores modificar o ajustar el proceso para llegar a los objetivos de aprendizaje planteados, para enriquecer la práctica docente y generar en el estudiante la oportunidad de aprender a partir de la retroalimentación del docente. (Martínez, 2016) el monitoreo del proceso, la dosificación del contenido redirigen, enfatizan y generan estrategias pertinentes para el cumplimiento del objetivo aprendizaje.

El hablar de evaluación sumativa es referirse al paso final del proceso, su función es verificar el grado de cumplimiento de los objetivos de aprendizaje diseñados a partir de la evaluación diagnóstica; es un referente que otorga al docente elementos para identificar si los aprendizajes se desarrollaron con criterios e instrumentos de valoración específicos; los resultados y datos generados aportan información pertinente para emitir un veredicto sobre el nivel de éxito o fracaso de la estrategia de aprendizaje; la asignación de la calificación está estrechamente ligada con este momento, la evaluación sumativa socialmente hablando ha prevalecido sobre la función pedagógica (Díaz F. & Díaz E. 2002) pues su reconocimiento sobre las dos

primeras etapas del proceso, genera una controversia al establecer una mayor importancia en el ámbito educativo, opacando la importancia de la evaluación diagnóstica y formativa pues el uso de la evaluación final o sumativa por parte del docente se vuelve común y administrativo más que un ejercicio de reflexión integral sobre los procesos.

Esta evaluación no es continua, aparece al finalizar cada trimestre, su uso es un ejemplo claro del carácter cuantitativo que representa en la escuela, un esquema de satisfacción social que apoya la creencia de que a mayor número en la escala evaluativa, más inteligente es el estudiante no como un parámetro de avance o desarrollo de los aprendizajes en las niñas y niños, para ajuste en los procesos educativos.

Es necesario reorientarse hacia una evaluación formativa, auténtica y continua, que permita valorar situaciones reales que han sido objeto de enseñanza, relevantes para la vida, vinculadas a aquellos aprendizajes que tienen autenticidad, ocurridos en contextos formativos representados por experiencias y conocimientos trascendentes (Díaz, 2015).

3. MÉTODO

Durante el desarrollo del proyecto se utilizará la metodología de tipo cuantitativa tomando como referencia el contexto para analizar, formular hipótesis y fundamentar postulados teóricos, (Hernández, 2006) Sampieri la define como: un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos, secuenciales, probatorios y aplicables a un fenómeno, para recolectar datos de manera objetiva y generar análisis de manera científica (Hernández, 2006) que se presenta en forma numérica con ayuda de la estadística. Es metódica y estructurada, utiliza instrumentos que admiten respuestas específicas sobre indagaciones concretas; con objetividad y ambientes controlados para la explicación y comprensión del hecho; existen diversos autores como Tyler, Tamayo que mencionan la estructura de la metodología cuantitativa y los pasos a seguir, en este proyecto se retomará algunos momentos de la metodología de Hernández Sampieri con diez pasos para el proceso de investigación cuantitativa.

Se determinó la utilización de la metodología cuantitativa con estudio comparativo que hace uso de datos estadísticos, porcentajes y realiza análisis de datos mediante recursos matemáticos, se utilizaron instrumentos como la encuesta y

el cuestionario que permitieron delimitar el problema, dentro del objetivo: realizar una metodología de evaluación formativa con rúbricas de evaluación mediante herramientas digitales para medir su impacto en los aprendizajes de los estudiantes de educación primaria.

1. Idea: Se concibe la idea, se comienza por generar interrogantes a partir de las cuales se puede investigar desde una perspectiva científica, es en este momento donde se gesta la idea mediante la cual se pretende desarrollar una metodología para mejorar la evaluación formativa mediante rúbricas analíticas con herramientas digitales a través de su aplicación mejorará los aprendizajes.

2. Planteamiento del problema: Durante este paso se establecieron los objetivos de investigación se expresaron de forma clara para evitar sesgos, es aquí donde se desarrollan las preguntas que dieron forma al proyecto, permitieron elaborar una justificación para dar viabilidad a la investigación, así evaluar. A partir de la observación atendiendo a la detección de la problemática, la cobertura de la necesidad tras las pruebas diagnósticas realizadas a los estudiantes al inicio del ciclo con las pruebas estandarizadas anuales que focalizan a la institución educativa donde se desarrolla la propuesta como una escuela con bajo rendimiento debido a esto y ante las deficiencias que se presentan en el proceso de evaluación por los instrumentos utilizados se aplicó una encuesta para saber los instrumentos de evaluación que utilizan los docentes en su práctica, durante el Consejo Técnico Escolar en su sesión ordinaria de febrero se solicitó a los docentes que realizarán la encuesta donde los docentes respondieron 3 preguntas cerradas y 2 con escala de Likert mediante el uso de un formulario de google para identificar las etapas evaluativas que propician limitaciones en la consolidación de los aprendizajes es que se determinó realizar el proyecto previamente mencionado.

3. Revisión de la literatura desarrollo del marco teórico: El análisis, revisión selección y consulta bibliográfica nos ha otorgado elementos necesarios para estructurar un marco teórico con el uso de información relevante que ha aportado datos estructurales necesarios para la construcción de un primer acercamiento a los datos sobre instrumentos de evaluación.

4. Visualización de alcance del estudio: En esta etapa se definió que se apoyará a los docentes en la mejora de los instrumentos de evaluación, es en esta etapa que se realizará la propuesta metodológica, será la elaboración de una guía con herramientas digitales, e-rúbricas para facilitar el proceso continuo de evaluación

y generar una metodología con herramientas digitales para mejorar la evaluación formativa y medir el nivel de avance en los aprendizajes de los alumnos, el diseño y aplicación será Escuela Primaria Roberto Medellín.

5. Elaboración de la hipótesis y definición de variables: En este momento se consideran las posibles soluciones a las problemáticas planteadas mediante la formulación de hipótesis con variables que serán comprobadas o refutadas. De acuerdo al proceso de la metodología, el cumplimiento en la formulación de la hipótesis ya fue realizado en espera del cumplimiento o refutación de la misma, a consideración con la variable independiente: a la evaluación formativa con rúbricas de evaluación y a la dependiente como: la medición de los aprendizajes mediante uso de herramientas digitales mediante la siguiente hipótesis: Mediante la realización de una metodología de evaluación formativa con rúbricas de evaluación y herramientas digitales será posible medir el impacto en los aprendizajes de los estudiantes de educación primaria.

6. Elaboración de propuesta: Este proyecto se desarrollará con una metodología para la evaluación formativa con rúbricas diseñadas en herramientas digitales que permitan observar, medir las mejoras en el desempeño de los estudiantes mediante cuestionarios de inicio y al finalizar la aplicación, a través de criterios de evaluación sobre los aprendizajes a desarrollar, con una investigación cuantitativa aplicada con enfoque comparativo pues se verificará el grado de pertinencia de la evaluación por rúbricas en contraste con los de evaluación tradicional que medirá el impacto en los aprendizajes en los estudiantes, para obtener datos numéricos que establezca el nivel de logro para dar cumplimiento al objetivo que permita hacer una medición sobre los aprendizajes durante la evaluación formativa, la pertinencia en la creación de una rúbrica y la implementación.

7. Definición de la muestra y población: Se define como la selección de participantes para el estudio, grupos, individuos, etc., será sobre la cual se habrá de recolectar datos; en esta fase se determinó la muestra, el tamaño, la población; para esta investigación se determinó que se realizará en la Escuela Primaria Roberto Medellín turno matutino, escuela federal pública de jornada regular, perteneciente a la Administración Federal de Servicios Educativos de la Ciudad de México, adscrita a la Dirección Operativa número 4, una investigación desde el método cuantitativo para explicar los fenómenos educativos; la población sobre la que se centra son tres grupos que dan como total 99 estudiantes; así como 13 docentes

frente a grupo.

8. Selección de instrumentos y aplicación de la metodología: Las técnicas e instrumentos es un método a través del cual se recolectan datos para obtener información relevante y específica sobre un tema, los instrumentos de medición o recolección de datos a utilizar se prevé utilizar la técnica de la encuesta con el instrumento del cuestionario a docentes para determinar cómo es el proceso de evaluación dentro del aula que se utilizó en el planteamiento del problema, se estructuró con preguntas cerradas que permitirán determinar el número de docentes que realizan un determinado tipo de evaluación e instrumento y su frecuencia al usarlo dentro del aula, se realizó al inicio de la investigación para tener antecedentes, e obtuvieron datos que se analizaron y fueron presentados en forma de tabla.

9. Análisis de datos: Mediante el análisis estadístico se analizó el instrumento realizado en la segunda etapa para presentarse en forma de tablas, así mismo con los datos que arrojen los instrumentos de recolección de datos aplicados en dos momentos, al inicio de la investigación y al finalizar; mediante resultados obtenidos de la aplicación previa, con una evaluación sobre la pertinencia de la metodología con base en los resultados obtenidos de la implementación.

10. Elaboración del reporte final: Los datos obtenidos de la aplicación de la metodología así como su análisis serán presentados a manera de reporte mediante el uso de tablas, gráficas, cuadros o diagramas con las conclusiones, los alcances de la investigación, con la interpretación pertinente que nos aportará datos para presentar los hallazgos, las relaciones entre variables y comprobar la hipótesis en este momento que se presenta de los resultados de la aplicación de la metodología diseñada.

4. DESARROLLO

4.1 La rúbrica

La representación de un instrumento de evaluación como las rúbricas acorde a las necesidades educativas representan una alternativa para generar procesos de evaluación del desempeño que favorezcan la mejora en la actuación de las personas ante problemas del contexto, a partir de evidencias y trabajo de campo. (Hernández, Tobón & Guerrero, 2016). La evaluación formativa hace uso de diversos instrumentos a través de los cuales es posible identificar las necesidades en los procesos de

enseñanza y aprendizaje, la evaluación con rúbricas enlistan características que permiten obtener información sobre el desempeño del alumno en una tarea o actividad específica, facilitando la evaluación, con ella se determina la calidad de un producto y la finalidad en el aprendizaje o su dominio; desde la perspectiva docente, las rúbricas se vuelve uno de los elementos necesarios para una evaluación de calidad y objetiva, que otorgue certeza y claridad para el estudiante así como para el evaluador; se considera una pertinente y de gran importancia con aportes significativos en los objetivos de aprendizaje; para autores como (Mertler, 2001; Roblyer y Wiencke, 2003) según Torres, 2010) la rúbrica es una herramienta flexible y versátil en la que se puede utilizar como alternativa para tutorías en los trabajos que los estudiantes realizan, Moskal (2000) considera bajo reserva sus áreas de aplicación y actividades en las que la rúbrica tiene cabida, su uso en la evaluación se considera parte de los propósitos que persigue como instrumento evaluativo se genera mediante escalas valorativas cuantitativa o cualitativa que se asocian a criterios establecidos para medir aspectos a través de escalas valorativas que midan el nivel de avance y logro de los aprendizajes. (Torres & Perea, 2010).

Autores como Panadero y Jonsson definen a la rúbrica como un instrumento de evaluación mediante el cual se transmiten expectativas sobre el desarrollo de alguna actividad asignada, permite dar un seguimiento al trabajo y valorar el progreso, su aplicación realizada durante el proceso evaluativo produce un incremento en el aprendizaje escolar de los estudiantes. (Panadero y Jonsson, 2013) para Elena Cano una rúbrica se puede definir como la pauta de evaluación de tipo cerrada en la que se enlistan atributos que se completan como check-list o escala, la rúbrica es generada como matriz de valoración, que incorpora criterios específicos en ejes completados con textos, permite verificar el cumplimiento del objetivo de logro o adquisición del criterio permitiendo al evaluador recopilar indicios para una evaluación objetiva, a partir del posicionamiento en la casilla de la escala evaluativa.

(Cano, 2015), este instrumento enriquece significativamente la labor del docente, pues contribuye significativamente en su práctica en la que deberá evaluar si el camino que sigue es el correcto.

El manejo de rúbricas aplicadas con herramientas tecnológicas podría considerarse como una forma innovadora de evaluación en la práctica docente de educación primaria pública, mejorando el rendimiento de los estudiantes y facilitando la labor docente, para lograrlo es necesario que los profesores hagan uso de los

recursos con los que no se encuentra familiarizados, pero acordes al momento histórico en el que viven; introducir la tecnología en un ámbito como la evaluación para su uso y aplicación en las escuelas públicas representa un reto que se debe asumir desde un enfoque integral e integrador, apelando las fortalezas de la tecnología y su capacidad adaptadora ante las necesidades específicas tanto para la evaluación de los programas educativos como para formación docente (OCDE, 2020) la conjunción de las TIC con la de un instrumentos tan flexible como la rúbrica aporta condiciones evaluativas reales, su uso frecuente y un diseño flexible aporta acompañamiento en los procesos de evaluación continua, la metodologías específicas y resultante brinda facilidades en las prácticas de enseñanza y aprendizaje, para obtener un análisis real con desempeño cualitativo y cuantitativo del estudiante.

Utilizar las rúbricas sobre otros instrumentos otorga al docente facilidad para la evaluación de temas específicos, flexibiliza los tópicos que pretende desarrollar u observaren el contenido a trabajar, da seguimiento al cumplimiento de pequeños objetivos de logro, tienen una intencionalidad didáctica y pedagógica que permite dilucidar las bondades o áreas de oportunidad de la secuencia didáctica para ser modificadas durante su ejecución y dar cumplimiento al aprendizaje esperado, existen diversos tipos de rúbricas holísticas o globales y analíticas de las que brevemente se realizará un esbozo.

4.2 Tipos de rúbricas: holísticas o globales y analíticas

Las globales u holistas son las que permiten una valoración general del desempeño del estudiante en la actividad, no proporcionan retroalimentación minuciosa, sino una aportación general (Mertler, 2001) valoran la totalidad del proceso, de elaboración y aplicación más sencilla, no definen distintos criterios establecidos (Navarro, Reyes & Rivera, 2017) ni otorgan datos específicos sobre la actividad.

Las rúbricas analíticas son aquellas que incluyen dimensiones, se distribuyen en niveles o escalas de desempeño otorgan información con mayor detalle, dando elementos para emitir un juicio de forma más precisa, coloca indicadores específicos que la actividad debe contener así como descripciones cualitativas que apoyan en la emisión de una valoración final (Fraile, Pardo, & Panadero., 2017) su estructura en niveles se nombra como escala evaluativa y estrategia de calificación, se asocia a la

asignación de un puntaje o valoración a cada nivel, la finalidad es evaluar el grado de desempeño del aprendizaje, para el cumplimiento de los objetivos.

Durante el desarrollo de este proyecto nos enfocaremos al tipo de rúbrica holísticas o globales para elaborarla debemos considerar los siguientes aspectos: identificar los aprendizajes que se pretenden alcanzar, así como los productos a desarrollar durante el proceso, elegir el modelo de trabajo de acuerdo a la actividad, selección de ámbitos y rubros a evaluar, establecimiento de la escala valorativa y de clasificación, formular los criterios para la ejecución de la rúbrica, finalmente determinar y validar mediante una escala ordinal (Díaz, 2004).

Estos parámetros serán importantes para la elaboración de una metodología de evaluación formativa con herramientas digitales que determinaría una mejora sustancial con un impacto positivo en los aprendizajes de los estudiantes de educación primaria.

La educación básica en México está plagada de vicios en la evaluación, para Ravela representa uno de los pilares más importantes, pero ignorados, no suele ser investigado, además de ser un campo abandonado en la formación docente es un campo abandonado, tanto como en los programas de formación de personal activo, en el desarrollo profesional como en la evaluación cotidiana dentro del aula; la inversión es mínima en contraste con lo que se destina a las evaluaciones a gran escala. (Ravela, Picaroni & Loureiro, 2018).

5. LA EDUCACIÓN PRIMARIA Y SU EVALUACIÓN

La primaria es el nivel donde comienza a formalizarse la educación, es ahí donde los docentes deben otorgar una calificación muchas veces sin preocuparse del verdadero nivel de avance en los aprendizajes de los estudiantes; en muchos casos es una labor administrativa a cumplir, en la que se utilizan instrumentos genéricos, descargados de plataformas didácticas para el docente representa una ventaja pues ante una posible inconformidad de los padres de familia difícilmente discuten la escala evaluativa del docente, pues la prueba suele medir aprendizajes memorísticos y no esperados.

Pocos son los docentes que desarrollan sus propios instrumentos para una evaluación real y formativa, razones muchos de ellos no tienen las herramientas, no saben cómo hacerlo o la enorme cantidad de estudiantes a su cargo no les permiten

realizarlas.

Estas deficiencias pedagógicas no permiten tener una práctica evaluativa funcional, efectiva y real, de seguir consintiendo estos procedimientos en la evaluación seguirá siendo una educación centrada en la obtención de números y no una preocupación por el proceso y desarrollo de aprendizajes y los métodos para poder llegar a la abstracción de ellos.

Ante esta necesidad y preocupación por la evaluación de los aprendizajes se permite el desarrollo de esta investigación para dotar de elementos metodológicos, tecnológicos y prácticos a los docentes de educación básica en nivel primaria, es por ello que se realizó un formulario a los docentes de la escuela Primaria Roberto Medellín turno matutino desde las cuales se plantearon cuestionamientos respecto a su práctica, el desarrollo en los procesos evaluativos dentro del aula, los instrumentos de evaluación que se utilizan para evaluar a los estudiantes, métodos y recursos para evaluar experiencia docente, grados que imparte y se obtuvieron los siguientes datos mostrados en los siguientes gráficos.

Se pidió en la quinta sesión ordinaria del Consejo Técnico Escolar del día 19 de febrero del 2021 que los profesores realizaron un formulario, el cual arrojó los siguientes resultados: 19 docentes en plantilla, 13 son docentes frente a grupo, 2 docentes de Educación Física.

Los docentes tienen una edad promedio de 39 años, es importante resaltar que el análisis pudo realizarse con al menos un profesor de cada grado académicos desde 1ero a 6to grado, respondió el test, así como profesores de educación física, educación especial y asesores técnico pedagógico que se encuentran en dirección.

Su experiencia va de los 3 años de docente frente a grupo, hasta los 25 años que es la profesora con mayor antigüedad dentro de la institución. El uso de los instrumentos de evaluación son variados y es importante destacar que en el ámbito escolar y áulico los docentes encuestados hace uso de los elementos valorativos como: cuaderno, diario de clase, informes, plataformas virtuales, investigaciones, apuntes, rúbricas; resaltando los cuadernos de actividades como uno de los aspectos más valorado; contrastando con las plataformas virtuales y las rúbricas las cuales presentan una menor presencia en la escala valorativa; es importante mencionar que si bien la frecuencia en el uso de estos recursos evaluativos no es la misma en todo momento, las respuestas de los docentes encuestados tiene su fundamento en el peso que le otorga al realizar la evaluación sumativa, a lo largo del curso han hecho uso de

ellos, el cuestionamiento corresponde al valor otorgado durante el proceso evaluativo del docente hacia el estudiantes, a continuación se presenta la siguiente tabla con los datos antes mencionados.

Tabla 1 Instrumentos de Evaluación

En las clases regulares ¿Cuál de los siguientes instrumentos utilizas?					
	Nunca	Pocas	Algunas	Bastantes	Muchas
Cuaderno		1	1	5	3
Diario de clase	3	2	3	2	-
Informes	1	3	4	2	-
Plataformas virtuales	1	1	1	4	3
Cuaderno o similar para tomar apuntes	3	2	1	-	4
Investigaciones	-	3	5	2	1
Rúbricas	1	4	3	2	-

Fuente: Elaboración propia.

Se le preguntó a los docentes de la Escuela Primaria Roberto Medellín turno matutino sobre los instrumentos, el sistema y tipo de proceso de evaluación. Se le preguntó a los docentes de la Escuela Primaria Roberto Medellín turno matutino sobre los instrumentos, el sistema y tipo de proceso de evaluación realizado en el grupo que atiende, las posibles respuestas fueron de acuerdo a los tipos de evaluación (continua o formativa) con instrumentos que otorguen validez al proceso la corrección de las actividades de manera sincrónica, generación de portafolios de evidencias o carpetas del estudiante, parámetros de calidad en las actividades; a los que 7 docentes respondieron que bastantes veces realizaban actividades de evaluación continua durante el desarrollo de las actividades de las asignaturas, 8 de los encuestados desarrolla actividades de evaluación formativa con labores que incluyen la corrección de actividades de forma sincrónica durante el proceso de aprendizaje, 5 de los docentes realizan estas correcciones cuyo objetivo es la corrección o repetición de las actividades basados en las observaciones previamente realizadas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El siguiente cuadro explica de manera detallada los ámbitos, competencias, habilidades contenidas en el plan de estudios 2011 y 2017 de la educación primaria del Sistema Educativo Nacional; en dichos documentos se definen las habilidades específicas en a cumplir en los perfiles de egreso de los cuales se consideran los correspondientes a Español o Lengua Materna, este cuadro describe ambos perfiles y se retoma debido a que en la actualidad la educación primaria tiene en funcionamiento ambos planes, siendo el 2017 aplicado en primer ciclo 1º y 2º grado y el plan 2011 para los grados superiores que van de 3º a 6º.

La importancia de estas características radica en la necesidad de argumentar la elección del contenido, para expresar la relación directa entre los objetivos de logro que el plan propone con en el perfil de egreso planteado, las competencias y habilidades lectoras que los estudiantes deben desarrollar y contar al concluir su educación primaria, de manera integral, en el plan de estudios 2011 la formación integral tiene por objetivo favorecer el desarrollo de competencias para la vida y el logro del perfil de egreso en el que los alumnos de preescolar, primaria y secundaria sean favorecidos, a partir de aprendizajes esperados, estándares curriculares, desempeño docente y de gestión escolar (Plan de Estudios, 2011).

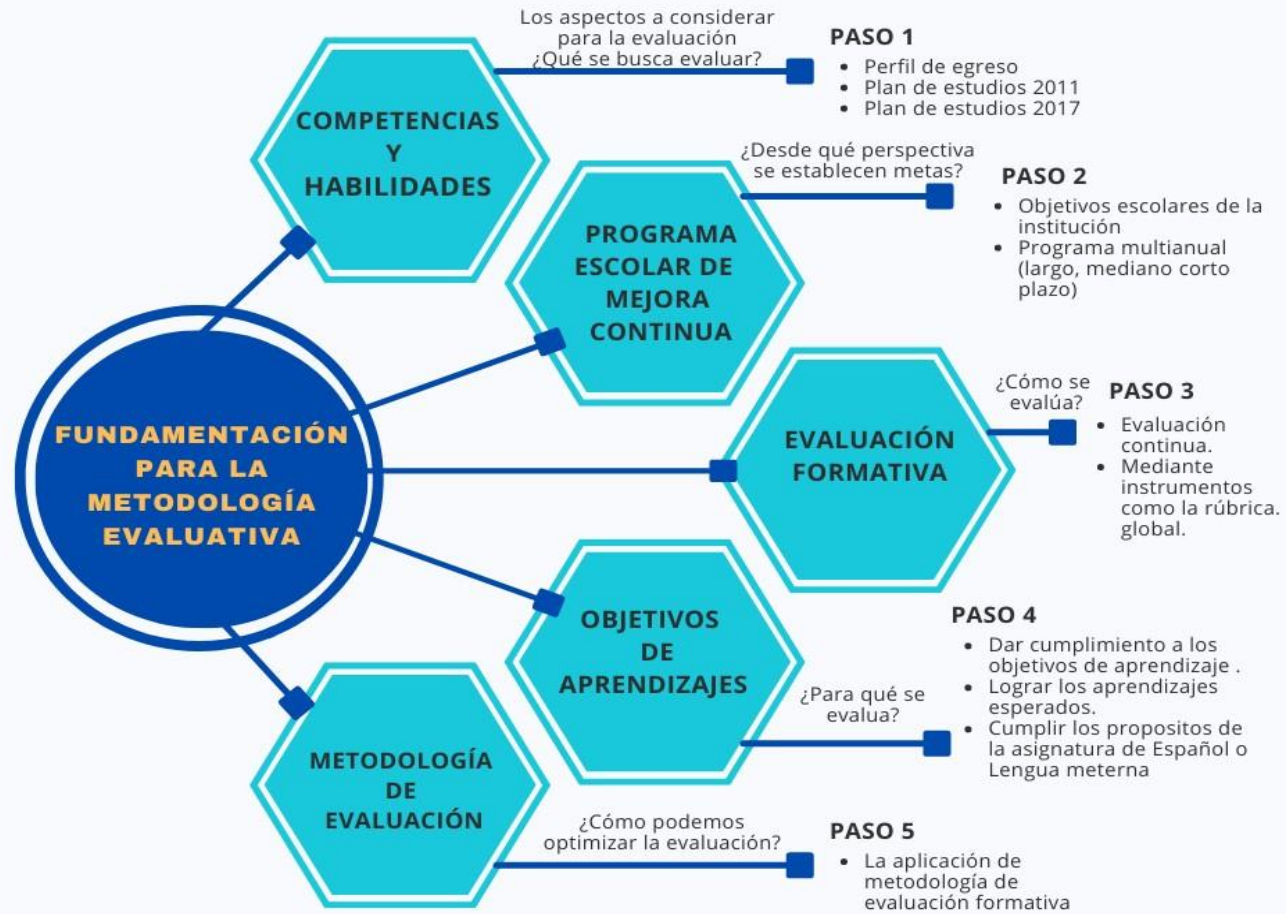
En cumplimiento de los logros educativos se vuelve parte de los “rasgos deseables” que el estudiante debe cumplir para alcanzar el nivel óptimo de desempeño como aprendizaje progresivo que se obtiene en los niveles educativos previos, el niño se responsabiliza de su propio aprendizaje, influenciado por los contextos. (Plan de estudios 2017), la conjunción de todos los aspectos permite hacer de la evaluación formativa una propuesta como camino para el logro y cumplimiento de los objetivos y de la evaluación formativa parte de las estrategias permanentes para la consolidación de aprendizajes.

El diseño de una metodología evaluativa que conjugue elementos necesario, además de considerar y facilitar el trabajo docente con aportaciones de valoraciones en apego a la teoría curricular vigente con la que permitan dar seguimiento al cumplimiento de las competencias lectoras y los aprendizajes esperados; dadas las necesidades planteadas en los en el Programa Escolar de Mejora Continua (PEMC) que se presentan en las orientaciones que este documento aporta, partiendo de un

análisis que dé seguimiento a lo largo de un ciclo escolar o de varios, su estructura de basa en la realización de un diagnóstico, el desarrollo de objetivos y metas, para implementar acciones de las cuales se puede dar seguimiento y evaluación, con ello se permite la estructuración de un plan de atención a las necesidades primordiales se basa en ocho ámbitos: “aprovechamiento académico y asistencia de los alumnos, prácticas docentes y directivas, formación docente, avance de los planes y programas educativos, participación de la comunidad, desempeño de la autoridad escolar, infraestructura y equipamiento, carga administrativa” (SEP, 2019, p.10)

Debido al enorme reto que representa la implementación, análisis y desglose de los seis grados escolares es que se determinó la aplicación únicamente en el último grado de la educación primaria como primera etapa, pues de acuerdo a la metodología será necesario el análisis detallado de los resultados arrojados por el programa de estudios.

CONTENIDO DE ANÁLISIS PARA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN FORMATIVA COMPRENSIÓN LECTORA



Fuente: Elaboración propia.

CONTENIDO DE ANÁLISIS PARA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN FORMATIVA COMPRENSIÓN LECTORA		
	2017	2011
Competencias de la asignatura		“Competencias comunicativas • Emplear el lenguaje para comunicarse y como instrumento para aprender. • Identificar las propiedades del lenguaje en diversas situaciones comunicativas • Analizar la información y emplear el lenguaje para la toma de decisiones: Se busca que los alumnos desarrollen su capacidad de análisis y juicio crítico de la información, proveniente de diferentes fuentes, para tomar decisiones de manera informada, razonada y referida a los intereses colectivos y las normas, en distintos contextos, sustentada en diferentes fuentes de información, escritas y orales. • Valorar la diversidad lingüística y cultural de México.” (SEP, 2011).
Competencias	Habilidades “En la sociedad actual se requiere dominar un rango muy amplio de habilidades, no solo para conseguir el éxito académico, sino para desarrollar la curiosidad intelectual y otras destrezas cognitivas necesarias para aprender en el ámbito escolar y para seguir aprendiendo fuera de este. Las habilidades se clasifican en tres grupos: Habilidades cognitivas y metacognitivas.” (SEP, 2017)	“Competencias para el aprendizaje permanente. Para su desarrollo se requiere: habilidad lectora, integrarse a la cultura escrita, comunicarse en más de una lengua, habilidades digitales y aprender a aprender.” (SEP, 2011)
Propósito de la asignatura	“El propósito de la asignatura Lengua Materna. Español para la primaria es que los estudiantes avancen en la apropiación y el conocimiento de prácticas sociales del lenguaje vinculadas con su participación en diferentes ámbitos, para satisfacer sus intereses, necesidades y expectativas, así como que continúen desarrollando su capacidad para expresarse oralmente y por escrito, considerando las propiedades de distintos tipos de texto y sus propósitos comunicativos. Se espera que en este nivel logren: 1. Avanzar en su conocimiento de las convenciones del lenguaje oral y escrito y comenzar a reflexionar sobre el sistema lingüístico para resolver problemas de interpretación y producción textual. 2. Desarrollar una creciente autonomía para interpretar y	“Si bien la educación primaria no representa para los alumnos el inicio del aprendizaje ni la adquisición de la oralidad, la lectura y la escritura, sí es el espacio en el que de manera formal y dirigida inician su reflexión sobre las características y funciones de la lengua oral y de la lengua escrita. Durante los seis grados de educación primaria, los alumnos participan en diferentes prácticas sociales del lenguaje, con las cuales encuentran oportunidades para la adquisición, el conocimiento y el uso de la oralidad y la escritura, hasta contar con bases sólidas para continuar el desarrollo de sus competencias comunicativas. La educación primaria recupera el estudio de la enseñanza de la lengua, iniciado

	producir textos que respondan a las demandas de la vida social, empleando diversas modalidades de lectura y escritura en función de sus propósitos.	en la educación preescolar, respecto de la enseñanza de la lengua, y sienta las bases para el trabajo en secundaria. Así, la escuela primaria debe garantizar que los alumnos:
	3. Elegir materiales de estudio considerando la organización de los acervos y la información de los portadores. 4. Comprender, resumir y producir textos orales y escritos que presentan procesos naturales y sociales para apoyar el estudio de otras asignaturas. 5. Analizar la organización, los elementos de contenido y los recursos de lenguaje de textos literarios de diferentes géneros para profundizar comprensión y enriquecer la experiencia de leerlos, producirlos y compartirlos. 6. Reflexionar sobre la importancia de la diversidad lingüística y cultural en la convivencia cotidiana. 7. Utilizar diferentes medios (orales, escritos, electrónicos) para compartir su experiencia y manifestar sus puntos de vista. Reconocer la existencia de perspectivas e intereses implícitos en los mensajes de los medios de comunicación para desarrollar una recepción crítica de los mismos.” (SEP, 2017)	1. Participen eficientemente en diversas situaciones de comunicación oral. 2. Lean comprensivamente diversos tipos de texto para satisfacer sus necesidades de información y conocimiento. Participen en la producción original de diversos tipos de texto escrito. 3. Reflexionen de manera consistente sobre las características, el funcionamiento y el uso del sistema de escritura (aspectos gráficos, ortográficos, de puntuación y morfosintácticos). 4. Conozcan y valoren la diversidad lingüística y cultural de los pueblos de nuestro país. Identifiquen, analicen y disfruten textos de diversos géneros literarios.” (SEP, 2011)
		“Los Estándares Curriculares de Español integran los elementos que permiten a los estudiantes de Educación Básica usar con eficacia el lenguaje como herramienta de comunicación y para seguir aprendiendo. Se agrupan en cinco componentes, cada uno de ellos refiere y refleja aspectos centrales de los programas de estudio: 1. Procesos de lectura e interpretación de textos. 2. Producción de textos escritos. 3. Producción de textos orales y participación en eventos comunicativos. 4. Conocimiento de las características, de la función y del uso del lenguaje. 5. Actitudes hacia el lenguaje.” (SEP, 2011)
Perfil de egreso	“Esta concepción de los mexicanos que queremos formar se traduce en la definición de rasgos que los estudiantes han de lograr progresivamente, a lo largo de los quince grados de su trayectoria escolar. En el entendido de que los aprendizajes que logre un alumno en un nivel educativo serán el fundamento de los	“El perfil de egreso define el tipo de alumno que se espera formar en el transcurso de la escolaridad básica y tiene un papel preponderante en el proceso de articulación de los tres niveles (preescolar, primaria y secundaria). El perfil de egreso plantea rasgos deseables que los

	aprendizajes que logre en el siguiente, esta progresión de aprendizajes estructura el perfil de egreso de la educación obligatoria. El perfil de egreso de la educación obligatoria está organizado en once ámbitos: 1. Lenguaje y comunicación 2. Pensamiento matemático 3. Exploración y comprensión del mundo natural y social 4. Pensamiento crítico y solución de problemas	estudiantes deberán mostrar al término de la Educación Básica, como garantía de que podrán desenvolverse satisfactoriamente en cualquier ámbito en el que decidan continuar su desarrollo. Dichos rasgos son el resultado de una formación que destaca la necesidad de desarrollar competencias para la vida que, además de conocimientos y habilidades, incluyen actitudes y valores para enfrentar con éxito diversas tareas.
	5. Habilidades socioemocionales y proyecto de vida 6. Colaboración y trabajo en equipo 7. Convivencia y ciudadanía 8. Apreciación y expresión artísticas 9. Atención al cuerpo y la salud 10. Cuidado del ambiente 11. Habilidades digitales El desempeño que se busca que los alumnos logren en cada ámbito al egreso de la educación obligatoria se describe con cuatro rasgos, uno para cada nivel educativo. A su vez, cada rasgo se enuncia como Aprendizaje esperado.” (SEP, 2017)	Como resultado del proceso de formación a lo largo de la Educación Básica, el alumno mostrará los siguientes rasgos. a) Utiliza el lenguaje materno, oral y escrito para comunicarse con claridad y fluidez, e interactuar en distintos contextos sociales y culturales; además, posee herramientas básicas para comunicarse en Inglés. b) Argumenta y razona al analizar situaciones, identifica problemas, formula preguntas, emite juicios, propone soluciones, aplica estrategias y toma decisiones. Valora los razonamientos y la evidencia proporcionados por otros y puede modificar, en consecuencia, los propios puntos de vista. c) Busca, selecciona, analiza, evalúa y utiliza la información proveniente de diversas fuentes. d) Interpreta y explica procesos sociales, económicos, financieros, culturales y naturales para tomar decisiones individuales o colectivas que favorezcan a todos. e) Conoce y ejerce los derechos humanos y los valores que favorecen la vida democrática; actúa con responsabilidad social y apego a la ley. f) Asume y practica la interculturalidad como riqueza y forma de convivencia en la diversidad social, cultural y lingüística. g) Conoce y valora sus características y potencialidades como ser humano; sabe trabajar de manera colaborativa; reconoce, respeta y aprecia la diversidad de capacidades en los otros, y emprende y se esfuerza por lograr proyectos personales o colectivos. h) Promueve y asume el cuidado de la salud y del ambiente como condiciones que favorecen un estilo de vida activo y saludable.

		i) Aprovecha los recursos tecnológicos a su alcance como medios para comunicarse, obtener información y construir conocimiento. j) Reconoce diversas manifestaciones del arte, aprecia la dimensión estética y es capaz de expresarse artísticamente.” (SEP, 2011
Ámbito	“Estudio • Intercambio de experiencias de lectura. • Comprensión de textos para adquirir nuevos conocimientos. • Elaboración de textos que presentan información resumida proveniente de diversas fuentes. • Intercambio de experiencias y nuevos conocimientos. • Intercambio escrito de nuevos conocimientos.” (SEP, 2017)	
Ámbito de Estudio		Ámbito de Estudio.
“Este organizador curricular remite, desde el nivel preescolar hasta la secundaria, al uso del lenguaje para aprender. Desde primer grado de primaria en adelante, se articula a partir de prácticas sociales del lenguaje cuyo propósito es auxiliar a los estudiantes en su desempeño académico, por lo que se dirigen a leer y escribir para aprender y compartir el conocimiento de otras asignaturas, así como a apropiarse del tipo de lenguaje en que se expresan. En el ámbito de “Estudio”, se requiere que los estudiantes aprendan a buscar información en bibliotecas o archivos digitales, a comprenderla y resumirla; a expresar sus ideas y opiniones en debates, exposiciones u otros encuentros académicos utilizando un lenguaje cada vez más formal, y conforme al vocabulario que cada disciplina requiere. En el proceso de producción de textos, se promueve que los estudiantes aprendan a planear su escritura, a preparar la información y a comunicarla claramente, de acuerdo con esquemas previamente elegidos; a utilizar la reflexión sistemática sobre la estructura sintáctica y semántica de los textos, su organización gráfica y sus características discursivas para lograr mejores producciones. Como el discurso académico requiere una expresión rigurosa y está sometido a múltiples convenciones, se propone que en este ámbito el trabajo con los temas de reflexión sea más frecuente. En la medida en que los alumnos avanzan en escolaridad, sus textos deberán ser más largos y coherentes; por ejemplo, estar organizados en temas y subtemas, distinguir definiciones y ejemplos, presentar los hechos en secuencias ordenadas, establecer relaciones causa-consecuencia, citar adecuadamente y distinguir sus opiniones de las de los autores consultados. Del mismo modo, los textos evidenciarán un dominio cada vez más preciso de los		“Las prácticas sociales del lenguaje agrupadas en este ámbito tienen el propósito de apoyar a los alumnos en el desempeño de sus estudios, para que puedan expresarse oral y por escrito en un lenguaje formal y académico. Desde esta perspectiva, los encaminan a leer y escribir para aprender y compartir el conocimiento de las ciencias, las humanidades y el conjunto de disciplinas; así como a apropiarse del tipo de discurso en el que se expresan. Por ello, algunas de las prácticas que se integran en este ámbito se vinculan directamente con la producción de textos propios de Ciencias Naturales y Ciencias Sociales. En este ámbito, el proceso de producción de textos exige que los alumnos planeen su escritura, preparen la información y la expongan conforme el discurso que cada disciplina requiere; que expresen las ideas claramente, de acuerdo con un esquema elegido; organicen de manera coherente el texto, delimitando temas y subtemas, definiciones, comentarios y explicaciones; empleen un vocabulario especializado y definiciones técnicas; citen adecuadamente las fuentes de consulta, y puedan relacionar sus opiniones con las de distintos autores. Ya que el discurso académico requiere una expresión rigurosa y está sometido a múltiples convenciones, es en este ámbito donde

signos de la ortografía, el vocabulario y la sintaxis. Los contenidos que desarrollan este ámbito están graduados a lo largo de la educación básica para alcanzar dichas expectativas.” (SEP, 2017)		se propone un mayor trabajo con contenidos referentes a la estructura sintáctica y se• mánticade los textos, la ortografía y la puntuación y su organización gráfica.”(SEP, 2011)
Ámbito: Lenguaje y comunicaci ón	“Comunica sentimientos, sucesos e ideas tanto de forma oral como escrita en su lengua materna; y, si es hablantes de lengua indígena, también se comunica en español, oralmente y por escrito. Describe en inglés aspectos de su pasado y del entorno así como necesidades inmediatas. Ampliar la formación académica “(SEP, 2017)	Campos formativos: No aplican en este programa.
Ambito: Estudio	Comprensión de textos para adquirir nuevos conocimientos	
Grado escolar	Aprendizaje clave	Aprendizaje esperado
1º	“Selecciona textos para escuchar su lectura. • Elige un tema de su interés sobre el cual desea aprender más. • Explora los acervos para ubicar diferentes materiales de lectura, de carácter informativo, que se vinculen con su propósito de lectura. • Escucha la lectura en voz alta de los materiales seleccionados y adquiere autonomía para hacerlo por sí mismo a lo largo del grado. • Expresa al grupo la nueva información que aprendió sobre el tema de suinterés luego de leer diversas fuentes. • Participa en el cuidado de los materiales de lectura y en la organización delos acervos.” (SEP, 2017)	En la actualidad el primer ciclo 1º y 2º grado se utiliza el plan 2017.
2º	“Selecciona diversos textos informativos para conocer más sobre un tema. • Elige un tema de su interés. • Explora textos en los acervos para seleccionar aquellos que le permitan saber más sobre el tema que le interesa. • Utiliza diferentes indicadores como: título, subtítulo, estructura, ilustraciones para seleccionar materiales que puedan cumplir con sus propósitos. • Lee los textos e identifica qué información le ofrece cada uno sobre el temade su interés. • Infiere, con ayuda del profesor, el significado de palabras desconocidas. • Aprende el orden alfabético para buscar palabras en el	En la actualidad el primer ciclo 1º y 2º grado se utiliza el plan 2017.

	diccionario. • Comparte lo aprendido sobre el tema de su interés al reconocer qué sabía y qué descubrió con las lecturas”(SEP, 2017)	
3º	“Explora textos informativos y analiza su función y contenido. • Formula preguntas sobre un tema de interés. • Comprende el contenido general de un texto informativo. • Localiza información para responder preguntas específicas. • Hace inferencias sobre el vocabulario. • Identifica la función de diversas partes de los portadores de texto; por ejemplo, la portada y el índice. • Utiliza elementos como títulos y subtítulos, palabras relevantes e ilustraciones, entre otros, como claves para localizar la información rápidamente.	• “Identifica el uso de oraciones impersonales en los reglamentos y las emplea al redactar reglas. • Emplea ortografía convencional a partir de modelos. • Participa en la realización de tareas conjuntas: proporciona ideas, colabora con otros y cumple con los acuerdos establecidos en el grupo. • Conoce la función y las características gráficas de los folletos y los emplea como medio para informar a otros. • Identifica e integra información relevante de diversas fuentes. • Usa títulos y subtítulos para organizar y jerarquizar información. • Infiere el significado de palabras desconocidas a partir de la información contextual de un texto.
	• Interpreta, de acuerdo con sus posibilidades, elementos que organizan el contenido: tipografía, uso de espacios en la página, viñetas.” (SEP, 2017)	• Encuentra patrones ortográficos en palabras derivadas de una misma familia léxica. • Identifica características y función de artículos de divulgación científica. • Identifica la utilidad de títulos, subtítulos, índices, ilustraciones y cuadros en un texto. • Emplea algunos recursos para la edición de una revista (portada, contraportada, créditos, secciones, índices). • Establece el orden de los sucesos relatados (sucesión y simultaneidad). • Infiere fechas y lugares cuando la información no es explícita, usando las pistas que el texto ofrece. • Redacta un texto en párrafos, con cohesión, ortografía y puntuación convencionales. • Contrasta información de textos sobre un mismo tema. • Recupera información de diversas fuentes para explicar un tema. • Emplea conectivos lógicos para ligar los párrafos de un

		textos. • Describe proceso cuidando un la secuencia de la información. • Recupera información relevante mediante notas y la emplea al redactar un texto. • Conoce la función y las características de los diagramas. • Identifica las diferencias generales entre discurso directo e indirecto. • Emplea signos de interrogación y admiración, y guiones. • Identifica las características generales de un poema. • Identifica algunos de los recursos literarios del texto poético. • Identifica características y función de artículos de divulgación científica. • Identifica la utilidad de títulos, subtítulos, índices, ilustraciones y recuadros en un texto. • Emplea algunos recursos para la edición de una revista (portada, contraportada, créditos, secciones, índices). • Identifica las características generales de las autobiografías. • Emplea el orden cronológico al narrar. • Usa palabras y frases que indican sucesión, y palabras que indican causa y efecto. • Identifica las características de personajes, y escenarios, y establece su importancia en el cuento.” (SEP, 2011).
4º	“Lee textos informativos breves y analiza su organización.	• “Formula preguntas para guiar la búsqueda de información e identifica aquella que es repetida, complementaria o irrelevante sobre un tema.

	• Se familiariza con la organización de materiales informativos con el fin de conocer su organización. • Considera los datos de la portada para hacer anticipaciones acerca del contenido. • Interpreta, de acuerdo con sus posibilidades, elementos que organizan el contenido: tipografía, uso de espacios en la página y viñetas. • Comprende la información contenida en cuadros de frecuencia y de resumen sencillos. • Reflexiona sobre el uso de diagramas o cuadros para resumir y ordenar información. • Infiere el significado de palabras desconocidas a partir de la información contextual de un texto.”(SEP, 2017)	• Identifica y usa recursos para mantener la cohesión y coherencia al describir párrafos. • Emplea la paráfrasis al exponer un tema. • Resume información para redactar textos de apoyo para una exposición. • Conoce las características de los trabalenguas y juegos de palabras. • Emplea la sílaba o la letra inicial de una serie de palabras para crear un efecto sonoro. • Emplea rimas en la escritura de trabalenguas y juegos de palabras. • Interpreta croquis para identificar trayectos. • Identifica las siglas, las abreviaturas y los símbolos usados en los croquis. • Interpreta y utiliza el vocabulario adecuado para dar indicaciones sobre lugares o trayectos. • Describe trayectos a partir de la información que aparece en los croquis. • Localiza información específica a partir de la lectura de diversos textos sobre un tema. • Identifica las características y la función de las monografías, y las retoma al elaborar un texto propio. • Escribe un texto monográfico que muestre coherencia. • Respeta y valora la diversidad cultural y lingüística de los pueblos indígenas. • Comprende el mensaje implícito y explícito de los refranes. • Identifica los recursos literarios empleados en los refranes. • Emplea adjetivos y adverbios al describir personajes, escenarios y situaciones en una narración. • Conoce las características de un instructivo e interpreta la información que presenta. • Emplea verbos en infinitivo o imperativo al redactar instrucciones. • Describe el orden secuencial de un procedimiento. • Emplea la ortografía convencional de palabras relacionadas con medidas de longitud, peso y volumen.
--	---	---

		• Identifica las características y la función de la entrevista para obtener información. • Elabora preguntas que recaben el máximo de información deseada, y evita hacer preguntas redundantes. • Recupera información a partir de entrevistas. • Respeta turnos de intervención en un diálogo.
		• Interpreta el significado de las figuras retóricas empleadas en los poemas. • Identifica los sentimientos que tratan los poemas. • Emplea el ritmo, la modulación y la entonación al leer poemas en voz alta, para darles la intención deseada. • Identifica las características y la función de las invitaciones. • Identifica la utilidad de los diferentes tipos de información que proveen las etiquetas y los envases comerciales. • Identifica los recursos de los textos publicitarios y toma una postura crítica frente a ellos. • Reconoce las ventajas del consumo responsable y de la toma de decisiones en función de la información que expone el producto. • Identifica la organización de una enciclopedia para localizar información. • Identifica la función de las distintas partes de un texto expositivo. • Verifica sus interpretaciones constatando la información provista por el texto. • Participa en el intercambio de opiniones con otros, de manera asertiva. • Identifica aspectos relevantes de los escenarios y personajes de narraciones mexicanas. • Reconoce elementos de las narraciones: estado inicial, aparición de un conflicto y resolución del conflicto. • Establece relaciones de causa y efecto entre las partes de una narración. • Incrementa sus recursos para narrar de manera oral. • Comprende la función e identifica la información que usualmente se solicita en los formularios. • Comprende el significado de siglas y abreviaturas comunes usadas en formularios.

		• Identifica la relevancia de los datos requeridos en función de las instrucciones para su llenado. • Identifica datos específicos a partir de la lectura. • Identifica la utilidad de relatos biográficos para conocer la vida de personajes interesantes. • Recupera los datos relevantes sobre la vida de un autor en un texto y las relaciona con su obra. • Identifica los datos incluidos en una nota periodística (sucesos y agentes involucrados).
		• Jerarquiza la información al redactar una nota periodística. • Identifica la organización de la información y el formato gráfico en las notas periodísticas. • Redacta notas periodísticas breves.” (SEP, 2011)
5º	“Elabora reseñas de textos leídos. • Elige algún texto para reseñar. • Comenta cuáles son las características y la función de las reseñas. • Escribe una breve descripción del material leído. • Emite una opinión acerca del material leído. • Incluye algunos datos bibliográficos del texto: título, autor, lugar en el que se publicó, fecha de publicación. • Identifica y modifica reiteraciones innecesarias en textos propios, errores de concordancia y ortografía en general.” (SEP, 2017)	• “Identifica información complementaria en dos textos que relatan sucesos relacionados. • Registra, en notas, los aspectos centrales de una exposición oral. • Organiza un texto en párrafos con oración tópica y oraciones de apoyo, empleando puntuación y ortografía convencionales. • Usa palabras y frases que indican sucesión y simultaneidad, así como relación antecedente-consecuente al redactar un texto histórico. • Identifica las características de las fábulas, y sus semejanzas y diferencias con los refranes. • Comprende la función de fábulas y refranes. • Interpreta el significado de fábulas y refranes. • Identifica las características y la función de las frases publicitarias. • Emplea diferentes estrategias textuales para persuadir a un público determinado al elaborar un anuncio. • Identifica los recursos retóricos en la publicidad. • Identifica la organización de las ideas en un texto expositivo. • Utiliza la información relevante de los textos que lee en la producción de los propios. • Emplea referencias bibliográficas para ubicar fuentes de consulta. • Emplea citas textuales para referir

		• información de otros en sus escritos. • Distingue elementos de realidad y fantasía en leyendas. • Identifica las características de las leyendas. • Describe personajes o sucesos mediante diversos recursos literarios. • Redacta un texto empleando párrafos temáticos delimitados convencionalmente. • Retoma elementos convencionales de la edición de libros. • Establece criterios de clasificación al organizar información de diversas fuentes. • Elabora cuadros sinópticos y mapas conceptuales para resumir información. • Identifica algunos de los recursos literarios de la poesía.
		• Distingue entre el significado literal y figurado en palabras o frases de un poema. • Identifica los temas de un poema y reconoce los sentimientos involucrados. • Muestra interés y sensibilidad al leer y escribir poemas. • Identifica el punto de vista del autor en un texto. • Comprende el significado de palabras desconocidas mediante el contexto en el que se emplean. • Conoce la función y organización del debate. • Fundamenta sus opiniones al participar en un debate. • Emplea oraciones complejas al escribir, e identifica la función de los nexos en textos argumentativos. • Identifica la relación entre los datos y los argumentos de un texto expositivo. • Emplea citas y paráfrasis en la construcción de un texto propio. • Interpreta la información contenida en gráficas y tablas de datos. • Valora la importancia de incluir referencias bibliográficas en sus textos. • Conoce la estructura y función de un reporte de encuesta. • Usa nexos para indicar orden y relación lógica de ideas. • Emplea tablas de datos y gráficas de frecuencia simple para complementar la información escrita. • Escribe conclusiones a partir de datos estadísticos simples". (SEP, 2011)

6º	“Amplía su conocimiento acerca de temas específicos con la lectura de textos informativos. • Hace inferencias sobre el propósito y los destinatarios del texto. • Hace inferencias sobre el vocabulario y el sentido de frases complejas. • Interpreta, de manera cercana a la convencional, el sentido de elementos gráficos que organizan el contenido (tipografía, uso de espacios en la página, puntuación, viñetas), así como la relación entre imágenes o elementos gráficos y el contenido del texto. • Establece relaciones entre los contenidos de un texto informativo: causa- consecuencia, secuencias temporales, entre otros. • Recupera el sentido general del texto. • Identifica los verbos para reconstruir la secuencia de la información.	• “Elabora guías de estudio con base en las características que identifica en exámenes y cuestionarios. • Identifica distintos formatos de preguntas en exámenes y cuestionarios. • Identifica las formas de responder más adecuadas en función del tipo de información que se solicita. • Identifica e infiere las características del personaje a través de la lectura de biografías y autobiografías. • Identifica la diferencia en el uso de la voz narrativa en la biografía y la autobiografía. • Usa oraciones compuestas al escribir. • Emplea recursos literarios en la escritura de biografías y autobiografías. • Identifica los elementos y la organización de un programa de radio. • Conoce la función y estructura de los guiones de radio. • Emplea el lenguaje de acuerdo con el tipo de audiencia.
	• Identifica la presencia de adverbios o frases que indican modo, tiempo y lugar para marcar el contexto de las acciones y situaciones de los textos informativos.” (SEP, 2017)	• Resume información de diversas fuentes, conservando los datos esenciales. • Identifica las características generales de los reportajes y su función para integrar información sobre un tema. • Comprende e interpreta reportajes. • Selecciona información relevante de diversas fuentes para elaborar un reportaje. • Emplea notas que sirvan de guía para la escritura de textos propios, refiriendo los datos de las fuentes consultadas. • Identifica las características de los cuentos de misterio o terror: estructura, estilo, personajes y escenario. • Infiere las características, los sentimientos y las motivaciones de los personajes de un cuento a partir de sus acciones. • Emplea verbos y tiempos verbales para narrar acciones sucesivas y simultáneas. • Redacta párrafos usando primera y tercera persona. • Escriben cuentos de terror o suspenso empleando conectivos para dar suspenso. • Usa palabras que indiquen orden temporal, así como numerales y viñetas para explicitar los pasos de una secuencia.

		• Elabora instructivos empleando los modos y tiempos verbales adecuados. • Adapta el lenguaje para una audiencia determinada. • Usa notas y diagramas para guiar la producción de un texto. • Establece el orden de los sucesos relatados (sucesión y simultaneidad). • Infiere fechas y lugares cuando la información no es explícita, usando las pistas que el texto ofrece. • Reconoce la función de los relatos históricos y emplea las características del lenguaje formal al escribirlos. • Redacta un texto en párrafos, con cohesión, ortografía y puntuaciones convencionales. • Reconoce la estructura de una obra de teatro y la manera en que se diferencia de los cuentos. • Usa verbos para introducir el discurso indirecto en narraciones y acotaciones. • Usa signos de interrogación y exclamación, así como acotaciones para mostrar la entonación en la dramatización.
		• Interpreta un texto adecuadamente al leerlo en voz alta. • Identifica la estructura de las cartas de opinión. • Identifica las diferencias entre expresar una opinión y referir un hecho. • Adapta el lenguaje escrito para dirigirse a un destinatario. • Expresa por escrito su opinión sobre hechos. • Contrasta información de textos sobre un mismo tema. • Recupera información de diversas fuentes para explicar un tema." (SEP, 2011).

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se presenta la siguiente metodología para la evaluación formativa, el desarrollo de esta propuesta está pensado en la aplicación únicamente para del sexto grado en un primer momento, debido a que la investigación es amplia y las habilidades son diversas y con grandes cambios entre grados educativos.

Se desglosa en nueve pasos de aplicación y se representa en el siguiente esquema como parte de los resultados obtenidos.

METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN FORMATIVA PARA HABILIDADES LECTORAS EN EDUCACIÓN PRIMARIA



Fuente: Elaboración propia.

7. CONCLUSIÓN

Los datos anteriormente presentados nos permiten observar con mayor claridad la tendencia sobre los instrumentos evaluativos que utilizan los docentes en esta institución, las preguntas subsecuentes se desarrollan bajo la expectativa de tener un acercamiento sobre los procesos e instrumentos de evaluación, pues es a partir de este análisis que será posible dar cumplimiento a los objetivos planteados en la evaluación educativa y en lo competentea este proyecto; las rúbricas deben ser el instrumento de evaluación para los docentes que permita mejorar y dilucidar las necesidades de los estudiantes y las deficiencias en la planeación y la ejecución, el desarrollo de las rúbricas es en función del avance de los aprendizajes, indudablemente se debe trabajar en mejores instrumentos para la mejora en los tres momentos de evaluación, la investigación educativa es un campo amplio y los resultados del trabajo que se realicen deben ser de gran impacto para el desarrollo de nuevas experiencias de evaluación en el aula, su uso y práctica en la educación básica primaria debe ser relevante y funcional para que arroje resultados positivos y a corto plazo como este proyecto pretende.

REFERENCIAS

- Comenio, J. A. (1988). *Didáctica Magna*. México: Porrúa. Colección Sepan Cuántos.
- Cano, E. (2015). Las rúbricas como instrumento de evaluación de competencias en educación superior: ¿Uso o abuso? <http://www.ugr.es/local/recfpro/rev192COL2.pdf>.
- Córdoba, M. E. (2013). *Evaluación auténtica*. República Dominicana: INTEC.
- Díaz, F. Díaz, A. (2002). Capítulo 8 Constructivismo y evaluación psicoeducativa.
- Fernández Canul, F. A. (2018). La evaluación y su importancia en la educación. Distancia por tiempos. Nexos. <https://educacion.nexos.com.mx/?p=1016>
- Díaz, F. (2004). Las rúbricas: su potencial como estrategias para una enseñanza situada y una evaluación auténtica del aprendizaje. *Perspectiva Educativa*, 51–62.
- García-Barrera, A. (2016). Evaluación de recursos tecnológicos didácticos mediante e-rúbricas. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, (49). Recuperado a partir de <https://revistas.um.es/red/article/view/257691>
- García Ramos, J. M. y Pérez Justre, R. (1989). *Diagnóstico, evaluación y toma de decisiones*. Madrid: Rialp.
- García Ramos, J.M. (1989). *Bases pedagógicas de la evaluación. Guía práctica para educadores. Síntesis*, Madrid.
- Gordillo, J. J. T., & Rodríguez, V. H. P. (2010). La rúbrica como instrumento pedagógico para la tutorización y evaluación de los aprendizajes en el foro online en educación superior. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, (36), 141-149.
- Fernández Canul, F. A. (2018, 27 febrero). La evaluación y su importancia en la educación. Distancia por tiempos. <https://educacion.nexos.com.mx/?p=1016>
- Fraile, J., Pardo, R., & Panadero, E. (2017). ¿Cómo emplear las rúbricas para implementar una verdadera evaluación formativa? *Revista Complutense de Educación*, 28(4), 1321– 1334. <https://doi.org/10.5209/RCED.51915>
- Estrada V, E.; Boude F. O. (2015). “Hacia una propuesta para evaluar ambientes virtuales de aprendizaje (AVA) en Educación Superior”. *Revista Academia y Virtualidad*, Jiménez Moreno, J. A. (2019). Aproximaciones epistemológicas de la evaluación educativa: entre el deber ser y lo relativo. *Foro de Educación*, 17(27), 185-202. doi: <http://dx.doi.org/10.14516/fde.636>.
- Hernández, J.S., Tobón, S., y Guerrero, G. (2016). Hacia una evaluación integral del desempeño: las rúbricas socioformativas. *Ra Ximhai*, 12 (6), 359-376. [Fecha de Consulta 16 de Mayo de 2021]. ISSN: 1665-0441. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46148194025>
- Hortigüela, D., Pérez-Pueyo, Ángel, & González-Calvo, G. (2019). Pero... ¿A qué

nos Referimos Realmente con la Evaluación Formativa y Compartida? Confusiones Habituales y Reflexiones Prácticas. *Revista Iberoamericana De Evaluación Educativa*, 12(1). <https://doi.org/10.15366/riee2019.12.1.001>

Maldonado, A. (2018). ¿Cómo comprender mejor la evaluación? Cuatro temas para reflexionar con estudiantes en formación inicial docente. *Voces De La Educación*, 3(6), 111-125.

Mertler, C. A. (2001). Designing scoring rubrics for your classroom. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, 7(25). Recuperado de <https://doi.org/10.7275/gcy8-0w24>

OCDE. (2020a). Making the Most of Technology for Learning and Training in Latin America. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/ce2b1a62-en>

Panadero, E., & Jonsson, A. (2013). The use of scoring rubrics for formative assessment purposes revisited: A review. In *Educational Research Review* (Vol. 9, pp. 129–144). <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2013.01.002>

R.D. (2012, 27 enero). Formación en red del INTEF. Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y Formación del Profesorado. <http://educalab.es/intef/formacion/formacion-en-red>.

Ravela, P., Picaroni, B., & Loureiro, G. (2018). ¿Cómo mejorar la evaluación en el aula? Ciudad de México: Magro.

Sampieri, H., & Torres, C. P. M. (2018). Metodología De La Investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (1a ed.). McGraw-Hill.

SEP (2011). Plan de estudios 2011. Educación Básica. México: SEP

SEP (2017). Plan y programas de estudio, orientaciones didácticas y sugerencias de evaluación. México: SEP

SEP (2019), Orientaciones para elaborar el Programa Escolar de Mejora Continua PEMC, Subsecretaría de Educación Básica

Terroba, R. R. (2015, 11 diciembre). Análisis de rúbricas para la evaluación de la expresión oral y escrita en estudiantes de grado de magisterio en educación primaria - e-spacio. <Http://E-Spacio.Uned.Es/Fez/View/Tesisuned:Educacion-Rruiz>.

CAPÍTULO 03

CSMA PROTOCOL PERFORMANCE WITH DYNAMIC SPREADING FACTOR IN LPWAN NETWORKS WITH LORA RF TRANSCEIVERS

Luis Miguel Rego Pires

Master in Electrical and Computer Engineering

Institution: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL/DEETC

R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa

Institution: Instituto Politecnico da Lusofonia – IPLUSO/EET, Campo Grande, 400, 1700-098 Lisboa

Emails: luis.pires@isel.pt and luis.pires@ipluso.pt

ABSTRACT: Long Range (LoRa) is a spread spectrum modulation technology designed for Low- Power Wide-Area Networking (LPWAN) with a growing application in Internet of Things (IoT), which plays an important role in the global digitalization process. The expansion of LORAWAN networks demands careful circuit, system and network design to improve energy efficiency and quality of service. To support this task, advanced CAD tools can offer reliable network simulations results, where the effects of building blocks can be found. LoRaSim, one of the most popular simulators available for LoRa and LoraWan, had solely implemented an ALOHA access model protocol, which is not the most common protocol in real life scenarios. To mitigate this limitation and taking advantage of the open-source nature of both LoRaWAN and LoRaSim, it is proposed a Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance (CSMA/CA) protocol extension, as well as active adaptive parameters selection to cope with collisions. To demonstrate the effectiveness of these additions to the base solution, a comparison between both on different scenarios and their simulated performance key indicators will be presented.

KEYWORDS: IoT; LPWAN; LoRaWAN; LoRa; Spreading Factor; LoRaSim; CSMA/CA.

RESUMO: Long Range (LoRa) é uma tecnologia de modulação de espectro espalhado projetada para Low-Power Wide-Area Networking (LPWAN) com uma aplicação crescente na Internet das Coisas (IoT), que desempenha um papel importante no processo de digitalização global. A expansão das redes LORAWAN exige um projeto cuidadoso de circuitos, sistemas e redes para melhorar a eficiência energética e a qualidade do serviço. Para apoiar essa tarefa, ferramentas CAD avançadas podem oferecer resultados confiáveis de simulações de rede, onde os efeitos dos blocos de construção podem ser encontrados. O LoRaSim, um dos simuladores mais populares disponíveis para LoRa e LoraWan, implementou apenas um protocolo de modelo de acesso ALOHA, que não é o protocolo mais comum em cenários reais. Para atenuar essa limitação e aproveitar a natureza de código aberto do LoRaWAN e do LoRaSim, é proposta uma extensão do protocolo Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance (CSMA/CA), bem como a seleção de parâmetros adaptativos ativos para lidar com colisões. Para demonstrar a eficácia desses acréscimos à solução básica, será apresentada uma comparação entre ambos em diferentes cenários e seus indicadores-chave de desempenho simulados.

PALAVRAS-CHAVE: IoT; LPWAN; LoRaWAN; LoRa; Fator de Espalhamento;

LoRaSim; CSMA/CA.

1. INTRODUCTION

This study intends to demonstrate the difference between two of the most popular random-access protocols. It will also present the key parameters that define how the protocol will behave in each scenario. The theoretical analysis is accompanied by graphs extracted from the LoRaSim simulator [1], the most popular simulator for LoRa/LoRaWAN, which has been extended with development to allow a second, more efficient protocol to be simulated, as well as an adaptive Spreading Factor (SF) and timing management features.

In this paper, we use LoRaSim simulator to study the impact of the different medium access protocols (ALOHA and CSMA) and develop a new algorithm for a dynamic attribution of SF using CSMA/CA protocol for LoRa/LoRaWAN Radio Interface. We first show (section 2) the main contributions to the main theme of the conference. In section 3, we summarize LoRa and LoRaWAN Network. In section 4, we describe our purpose of this work – the new algorithm developed, and the new extension implemented in LoRaSim original. Section 5 presents results and draw the conclusions.

2. TECHNOLOGICAL INNOVATION FOR IOT

The nature of some of Internet of Things (IoT) services encourages operators to be particularly flexible and agile during the service-delivery and operation phases. Some capabilities, such as firewall, that are needed to create, deliver, and maintain a feature of an IoT service may be hosted in various platforms typically located in a cloud infrastructure. Other capabilities, such as traffic forwarding and Quality of Service (QoS), may be supported by in-network nodes such as dedicated service cards or devices with dedicated hardware. Selection of capabilities needed to dynamically orchestrate and deliver an IoT service therefore benefits from the flexibility of cloud-hosted service platforms and applications coupled with Software-Defined Network (SDN) techniques [2] that include dynamic service-inferred IoT resource allocation and

policy enforcement as well as assurance. Recently, the application of SDN to IoT networking has been investigated [3]-[4]. However, the focus has primarily been on dynamically enforcing a traffic-forwarding policy within an IoT network infrastructure according to abstract models and virtualized functions. SDN combined with Network Function Virtualization (NFV) and mass data analytics is a promising option for introducing high-degree automation into the overall IoT service-delivery procedure (from dynamic exposure and negotiation of IoT service parameters to resource allocation, policy enforcement, and service fulfillment and assurance). An SDN platform can be used to manage one or more IoT services. SDN can significantly help customize involved nodes at large to accommodate the design requirements of an IoT service portfolio, from smart home automation to advanced e-health or energy distribution services.

3. LORA AND LORAWAN NETWORK

LoRa network is a spectrum modulation technology developed by the company Semtech Corporation [5], and its own devices and modulation have come to be recognized as standard in the IoT area. Within LoRa Technology: there are two operating frequencies. The 433 MHz band is inserted in the free and theoretically a wave higher than the 868 MHz frequency will have greater range, and therefore also greater resistance to interference and greater ability to penetrate objects. The 433 MHz frequency is more popular by other technologies and as features that do not first give an advantage to the use of the 868 MHz frequency end up becoming reality additionally, as the applications for LoRa are now better compared to 868 MHz.

This modulation derives from Chirp Spread Spectrum (CSS) technology. Frequency Modulation (FM) more resilient than simple FM. chirp is a bandwidth scan assigned to this technology (typically 125 kHz and 250 kHz in Europe and 500 kHz in other continents) and "done in the +/- direction if it is a bit at 1" This scan is also a large amount of a "rhythm", one between the highest scanning rhythm and greatest information difficulty (especially taking in length the interferences of the medium as practical counts.) In Europe six sweeping rhythms or SF are used.

LoRaWAN that allows the creation of a range link, and establishment of communication between stations as a communication protocol. This open-source protocol has opened a huge number of private initiatives since the implementation of

the protocol, such as the development of ancillary solutions (both at the application layer and at the application layer level), expanding the range of solutions even further. Possibilities and catapulting the development of IoT networks, like, CMOS transceivers that uses lowpower techniques such as parametric amplifications [6].

3.1 CSS and spreading factor

LoRa is a CSS modulation, based on chirps and spread. The transmitted data, in the form of symbols, which will be represented in the form of chirps comprised between a minimum and maximum frequency. In LoRa modulation we can configure the symbol by changing the scattering factor and bandwidth, according to [7] a symbol will have a transmission time duration of T_s seconds, which is a function between bandwidth (BW) and SF, represented below:

$$T_s = \frac{2^{SF}}{BW} \quad (1)$$

When studying the modulation used in LoRa (CSS) it is important to mention the importance of the Orthogonal Variable Spreading Factor (OVSF). An encoding that assigns a “user” code to each station (orthogonal to each other), this scheme is represented in the form of a tree. Since the CSS uses chirps as a form of modulation, and these chirps are limited by the available bandwidth and therefore strongly linked to the SF used, we end up having a compromise between two inversely proportional variables that are the number of stations active at the same time and the bandwidth available for each of these stations to transmit their data. The OVSF codes can be represented by a tree [8].

The OVSF code tree is a binary tree with K layer, where each node represents a channelization code (k,m), $k=0,1,\dots,K$, $m=1,\dots,2^k$. The lowest layer is the leaf layer and the highest layer is the root layer. The data rate that a code can support is called its capacity. Let the capacity of the leaf codes (in layer K) be R. Then the capacity of the codes in layer (K-1),(K-2),...,0,1 are $2R,4R,\dots,2^{K-1}R,2^K R$ respectively. Layer K has 2^K codes and they sequentially labeled from left to right, starting from one. The mth code in layer K is referred to as code (k,m). The total capacity of all the codes in each layer is $2^K R$, irrespective of the layer number. We also define the maximum SF

$N_{\max}=2K$ as the total number of codes in layer K . All lower layer codes spanned from a higher layer code are defined as descendent codes [8]. All codes in each layer are mutually orthogonal. Furthermore, any two codes of different layers are also orthogonal except for the case when one of the two codes is the mother code of the other. The chirp signal spectral width BW can vary between 125 kHz, 250 kHz, and 500 kHz, which along with the SF , the chirp signal duration, and the coding efficiency, lends itself to calculating the bit rate, R_b [9]. Calculation performed for various combinations of BW and SF with extreme values of have been provided in [9]. In [9] we can be concluded that the spread data stream in LoRa is sent at a chip rate equal to the channel bandwidth, BW .

To keep the complexity of the network low, LoRa relies on a star topology in which end devices directly communicate with a few Gateway (GW) in a single-hop manner. GWs in turn forward data received from end devices to a central network server. GWs and end devices communicate with each other using different data rates, where the selection of a particular data rate provides a trade-off between communication range and message duration. In the PHY layer, LoRa implements CSS with integrated Forward Error Correction (FEC) [10]. Different data rates can be selected in the developed algorithm by changing the SF , which can be one of $\{7, 9, 12\}$. LoRa uses orthogonal SFs , which allows packets with different SFs to be transmitted concurrently without collisions. Using higher SFs results in higher noise immunity, thus longer communication range; however, it will result in longer packet air times, increasing the chance of collisions with other packets.

In a LoRa network, end devices transmit their packets in a broadcast manner, while GWs listen for transmissions on all available channels and all possible SFs . An end device's transmission is received successfully at a GW if the received signal power at the GW is higher than a minimum required Received Signal Strength Indicator (RSSI). The minimum required RSSIs for successful reception at different SFs are provided [9]. The GW, in turn, send the decoded packets to a central network server using broadband Internet connections, where duplicate packets are detected and removed. An advantage of broadcast transmissions is that, while a packet might not be decoded successfully by one gateway, e.g., due to collisions, there is still a chance that it may be decoded by another gateway, resulting in more successful receptions [10]. The number of GW that can hear an end device's transmission depends on the communication range of the end device, which in turn is directly related to the

transmission power and the SF used by the end device. The link layer of LoRa networks is referred to as LoRaWAN. The channel access mechanism in LoRaWAN is pure ALOHA [10], in which end devices access the channel as soon as they have packets ready for transmission. Our proposal is using LoRaSim simulator, implement a new algorithm of CSMA/CA (original LoRaSim simulator only include pure ALOHA) and implement a dynamic SF attribution (new implementation in LoRaSim simulator).

4. DYNAMIC SPREADING FACTOR ALGORITHM FOR LORA/LORAWAN

The simulation environment used to emulate the operating conditions of LoRa communication was the LoRaSim simulator, developed at Lancaster University [10]. The LoRaSim extension presented is based on the original LoRaSim platform. It differs essentially on the following aspects.

Node(n) and GW placement assumes a pseudo-random distribution. For consistency's sake the distribution of nodes was reprogrammed to the following:

$$n = -0.008 \cdot (x - 80)^2 + 100, \quad 1 \leq n \leq 75 \quad (2)$$

$$n = 0.008 \cdot (x - 80)^2 - 100, \quad 76 \leq n \leq 150 \quad (3)$$

$$GW = -(0.08 \cdot (x - 80)^2) + 60, \quad 1 \leq GW \leq 12 \quad (4)$$

$$GW = (0.08 \cdot (x - 80)^2) - 60, \quad 13 \leq GW \leq 24 \quad (5)$$

LoRaSim tool disposes of frequency, SF and timing collision functions. On these last two, a parameter was added to accommodate the new features. The *sfCollision* variable, now receives *p1*, *p2* (both packets) and *sfcounter*, so that if *p1* and *p2* collide the properties, *p1* changes its SF value and retransmits. *sfCounter* has a value of 3 (reconfigurable) which allows for it to sweep the values of SF=7, SF=9 and SF=12, and is decremented each time the packets collide. After which if it fails a 4th time, collision is deemed unavoidable. The *timmingCollision* variable, also receives now *p1*, *p2* and *botcounter* (value set to 3, but configurable), working the same way as *sfcounter*, *botcounter* allows for the backoff time before packet is transmitted to be randomized

up to 3 times. This backoff time is chosen between 5 milliseconds and 3 seconds.

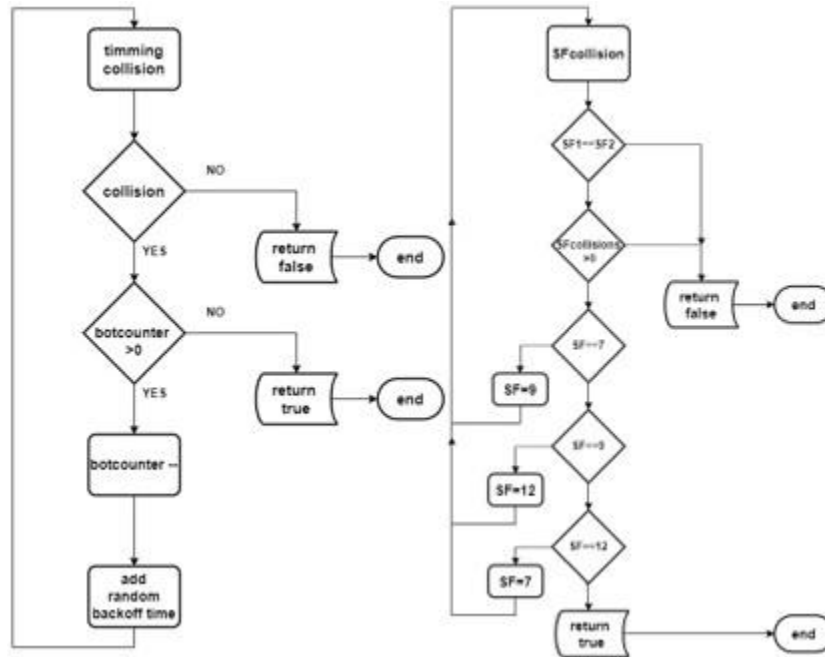
LoRaSim tool implements only the pure ALOHA technique, which allowed to perform about half of the simulations, however the scope of this study is the performance of both techniques, side by side to draw conclusions with an empirical basis. Thus, to design a CSMA/CA implementation, it was necessary to identify a collision, draw a backoff time and perform a retransmission.

In the field of collisions, the simulator has four different collision detections: collision in frequency, collision in SF, collision in time and collision in power. As far as collision in time is concerned, the function present in the simulator compares two packets at a time, and analyzes their presence in time, checking if the beginning of a *p2* packet has a temporal signature after or before a *p1* packet. The solution found was the introduction of a *botcounter* variable (backoff time) which because it was not possible to define globally, led to a recursive implementation. The *botcounter* variable indicates how many retransmissions are allowed, if there is a collision and if this value is 0 the code runs normally, otherwise it will add a random value in milliseconds between 5 and 3000 to the values under analysis and call the function again with the values of the updated parameters. As for the implementation of an ability to adjust the SF when a collision is detected, the approach was like the previous one. The original function validated whether the SFs of the packages in question were the same or not: which opens the possibility, if they are the same, to change the SF so that it does not collide with the same package, the *sfcounter* variable is then limited to the value 3, allowing 3 exchanges of SF of 7, 9 or 12. Figure 2, presents in left side: CSMA/CA algorithm and right side: dynamic SF algorithm.

5. RESULTS

A basic LoRaWAN network is comprised of a node, a GW which later communicates with a server. The extension of our tests allows for up to 24 GWs and 150 nodes. Typically, the distribution of nodes and their connection to the GWs assumes a star-like topology however, since an automated approach was taken, the distribution of nodes and GWs follows a second-degree polynomial expression. Within the simulation environment and the parameters presented above, the objective in this phase was to verify the performance of each one of the techniques against the different parameterizations of nodes, GW, SF and BW.

Figure 2. CSMA/CA algorithm and Dynamic SF algorithm.



More than 260 simulations were carried out between ALOHA and CSMA/CA with the variation of the number of nodes between 1 and 30 for ALOHA and 1 and 150 for CSMA/CA with dynamic algorithm. The initial conditions were the same for ALOHA and CSMA, for the sake of data consistency. Figures 3-5 presents the results with CSMA/CA algorithm.

Figure 3. Successful transmission with CSMA/CD algorithm changing SF.

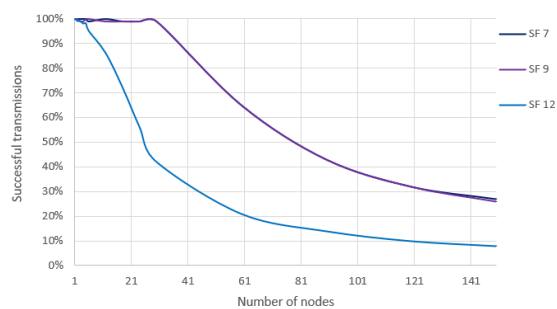


Figure 4. Successful transmission with CSMA/CA algorithm changing BW.

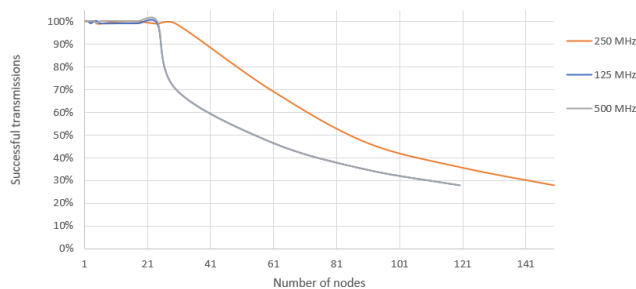
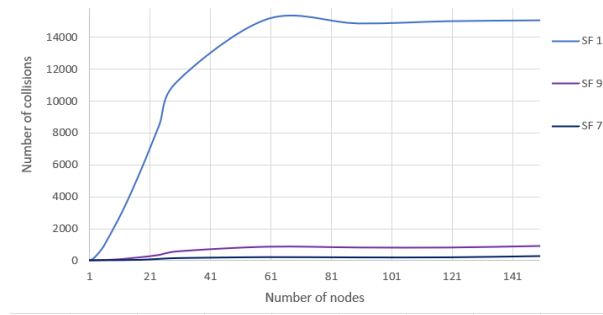


Figure 5. Number of collisions with CSMA/CA algorithm changing SF.



Figures 6-8, shows the results with CSMA/CA with dynamic SF compared with ALOHA.

Figure 6. Collisions and successful transmission: CSMA/CA and ALOHA.

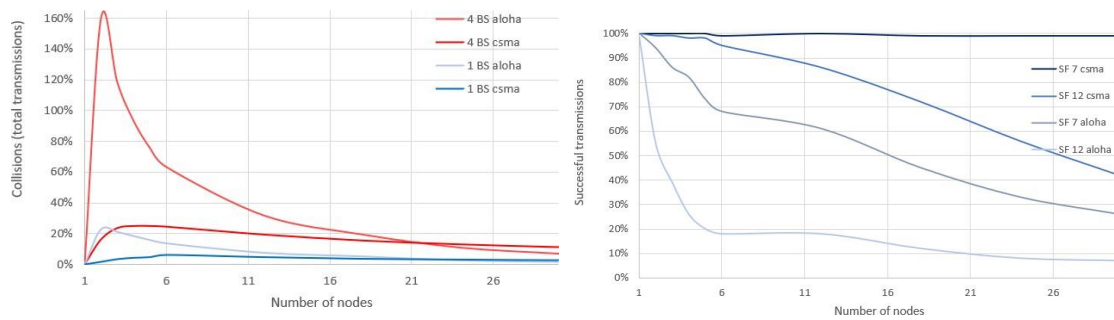


Figure 7. Successful transmission and changing BW: CSMA/CA and ALOHA.

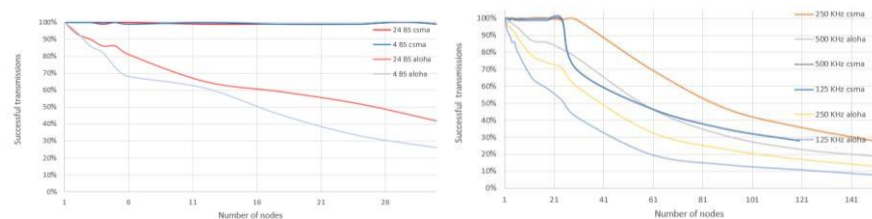
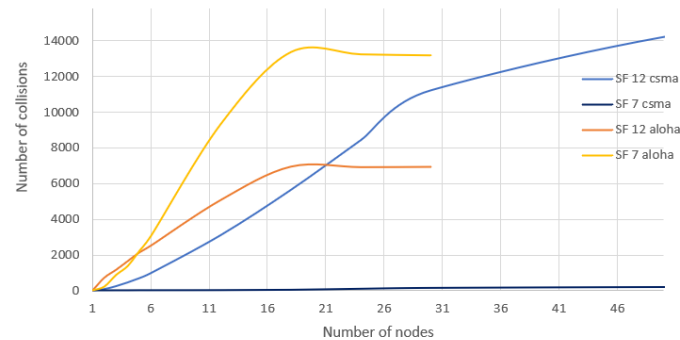


Figure 8. Number of collisions: CSMA/CA and ALOHA.



6. CONCLUSION

With SF of 7, it appears that up to 30 nodes the SF reduction increased the efficiency, stabilizing it close to 100%. From this point onwards we see a polynomial trend descent, which indicates the ability to maintain efficiency between 15%-30% with moderate increase in nodes. When we change SF, it is possible to observe the drastic way as the effectiveness of the communication improved with the use of SF 7 and 9. Arriving to have an improvement of 55% to 41% we gradually diminishing the difference until 20%. It is also relevant how the SF 12 starts to lose efficiency after just a few knots, while the SF 7 and 9 hold their efficiency up to around 30 nodes. It is important to mention this point because the dynamic SF capacity of the model allows the adaptation of the communication according to the existing conditions. The difference in performance of the SF 12 compared to the SF 7 and 9 is notorious, which not only increase the number of collisions to a much lesser extent, but for the extension of the simulations carried out, they kept this value below 1000. Which constitutes a very significant improvement of the model compared to the original ALOHA setting in the simulator. For the defined conditions it showed a clearly superior performance with SF 7 followed by BW, which indicates that for this experiment it benefited from short transmission times, with high packet rate, and a BW of 250 MHz, using CSMA/CA, in terms of the variation of nodes, GW, BW and SF [12]. The dynamic SF component proved to be effective in increasing efficiency for higher node numbers.

REFERENCES

- [1] Farooq, Muhammad; Pesch, Dirk, "Extended LoRaSim to Simulate Multiple IoT Applications in a LoRaWAN", Nimbus Centre for Embedded Systems Research Cork Institute of Technology, Cork, Ireland, 2018.
- [2] Software-Defined Networking: A Perspective from within a Service Provider Environment, IETF RFC 7149, Mar. 2014.
- [3] Z. Qin, G. Denker, C. Gianneli, et al., "A software defined networking architecture for the Internet-of-Things,"in IEEE Network Operations and Management Symposium (NOMS), Krakow, Poland, 2014.
- [4] M.-K. Shin, Y. Hong, and C. Y. Ahn, "A software-defined approach for end-to-end IoT networking," in Proc. IETF91 SDRG Working Group Meeting, Honolulu, USA, Nov. 2014Perry Lea, *Internet of Things for Architects*, Packt Publishing, 2018
- [5] www.semtech.com
- [6] Pires, M. Luis and Oliveira, P. João, A Survey on the Application of Parametric Amplification in Next Generation Digital RF Transceivers. MIXDES 2020, pp.69-73.
- [7] AN1200.22 - LoRa™ Modulation Basics, Semtech Corporation, 2015.
- [8] Askari M., Saadat R., Nakhkash M., "Assignment of OVFS Codes in Wideband CDMA", Communications in Computer and Information Science, vol 6. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [9] Kamil Staniec and Michał Kowal, "LoRa Performance under Variable Interference and Heavy-Multipath Conditions", Wiley Hindawi, Wireless Communications and Mobile Computing Volume 2018
- [10] Behnam Ousat and Majid Ghaderi, "LoRa Network Planning: Gateway Placement and Device Configuration", IEEE International Congress on Internet of Things, 2019.
- [11] Voigt, T., Bor, M., Roedig, U. and Alonso, J., LoRaSim, Lancaster University, Available in: <https://www.lancaster.ac.uk/scc/sites/lora/lorasim.html>
- [12] Alves, A.; Pires, M. Luis and Gonçalves, C. Luis, Development and analysis of new implementations of MAC protocols and mobility models in LoRa networks, DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv9n3-023>

CAPÍTULO 04

STRATEGIES TO REDUCE POWER CONSUMPTION IN PICO-SATELLITES

Luis Miguel Rego Pires

Master in Electrical and Computer Engineering

Institution: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL/DEETC

R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa

Institution: Instituto Politecnico da Lusofonia, IPLUSO/EET, Campo Grande, 400, 1700-098 Lisboa

Emails: luis.pires@isel.pt and luis.pires@ipluso.pt

ABSTRACT: To assess and rehabilitate degraded forests are global challenges. Due to the various causes and severity of degradation, they typically show a very diverse structure, which makes acquiring a detailed inventory, as a first step toward rehabilitation measures, difficult and costly. Area-based inventories based on satellite imagery are a well-established methodology to assess and classify the forest cover, but the information obtained is often not detailed enough to fulfil the needs of site-adapted rehabilitation in degraded forests with a highly diverse structure. Furthermore, due to the great variability of the forest structure, a great number of ground sample plots are necessary to establish statistically sound predictions of structural parameters. We propose to test a real mission in Azores Island, based on the typical pico-satellites architectures, after provide some strategies to create a new architecture design and predict power consumption, based on the sentences of low-power, very small scale, low-cost and very integrated system.

KEYWORDS: Pico-Satellites; Reduce Power Consumption; ESP32, Raspberry Pi; Microcontrollers; Very Small Scale; Low-Power; Soc; Predictive Model; Data Mining.

RESUMO: Avaliar e reabilitar florestas degradadas são desafios globais. Devido às várias causas e à gravidade da degradação, elas geralmente apresentam uma estrutura muito diversificada, o que torna difícil e dispendiosa a aquisição de um inventário detalhado, como primeira etapa para as medidas de reabilitação. Os inventários por área baseados em imagens de satélite são uma metodologia bem estabelecida para avaliar e classificar a cobertura florestal, mas as informações obtidas geralmente não são detalhadas o suficiente para atender às necessidades de reabilitação adaptada ao local em florestas degradadas com uma estrutura altamente diversificada. Além disso, devido à grande variabilidade da estrutura da floresta, é necessário um grande número de parcelas de amostragem no solo para estabelecer previsões estatisticamente sólidas dos parâmetros estruturais. Propomos testar uma missão real na Ilha dos Açores, com base nas arquiteturas típicas de picosatélites, depois de fornecer algumas estratégias para criar um novo projeto de arquitetura e prever o consumo de energia, com base nas frases de sistema de baixa potência, escala muito pequena, baixo custo e muito integrado.

PALAVRAS-CHAVE: Pico-Satélites; Redução Do Consumo De Energia; ESP32; Raspberry Pi; Microcontroladores; Escala Muito Pequena; Baixo Consumo De Energia; Soc; Modelo Preditivo; Mineração De Dados.

1. INTRODUCTION

New technologies, such as Unmanned Aerial Vehicles (UAV) or balloons or pico-satellite – CANSAT missions, allow the acquisition of detailed images, but until now they are mostly used to estimate forest attributes only in small scale applications, and if a precise Digital Terrain Model (DTM) is available, since optical sensors cannot sense terrain under dense canopy covers. However, the frequent canopy gaps on degraded forests would allow the partial assessment of the terrain, and the combination of wall-to-wall satellite imagery with partial cover UAV imagery would allow larger scale inventories of acceptable accuracy and reliability without the need for an increased number of ground sample plots. Another fundamental part is integrate radio communications part in UAV, balloons like it use in pico-satellites, so it means that not only the process to put in the air and stay (UAV, balloons or pico-satellites) to covered some area is important, but also the capacity to communicate to the ground or between the “air devices” and Internet of Thing (IoT) all the conditions to be integrated in that devices using standard cellular radio technology like 3rd Generation Partnership Project (3GPP). Recognizing the importance of IoT, 3GPP has introduced a number of key features for IoT in its latest release, Rel-13. EC-GSM-IoT [1] and LTE-MTC [2] aim to enhance existing Global System for Mobile Communications (GSM) [3] and Long-Term Evolution (LTE) [4] networks, respectively, for better serving IoT use cases. Coverage extension, complexity reduction in the devices, long battery lifetime, and backward compatibility are common objectives. A third track, Narrowband Internet of Things (NB-IoT) [5], shares these objectives as well. In addition, NB-IoT aims to offer deployment flexibility allowing an operator to introduce NB-IoT using a small portion of its existing available spectrum. NB-IoT is designed mainly targeting ultra-low-end IoT applications. NB-IoT is a new 3GPP radio-access technology in the sense that it is not fully backward compatible with existing 3GPP devices. In this paper we present results about a real mission, based on CANSAT concept, in Santa Maria Island in Azores and we discuss about other new technologies focus on low-power, low-cost, very small scale and technologies that support reconfigurable part to give more modularity in the hardware and a very integrated.

2. SYSTEM ARCHITECTURE

The CANSAT (satellite shaped tin) is a functional model of a pico-satellite, in that all electronics systems are integrated into the volume of a soda can. It is launched by a rocket to a predefined altitude (1000 meters) so that during the descent is possible to carry out a scientific experiment, to capture the emitted signals (telemetry) and ensure a safe landing. So, the CANSAT Portugal is an educational project of ESERO Portugal, organized by the European Space Agency (ESA). This initiative enables the design and build a functional model of a pico-satellite whose base systems (antenna, battery and sensors) will have to be integrated in a volume equivalent to a can of refrigerant, this model has two missions, where the primary mission is measurement of air temperature, atmospheric pressure and altitude during the descent and transmit the parameters to an earth station, using radio communications 433MHz. The secondary mission is to obtain a 3D ground mapping of the surface of Santa Maria Island in Azores. We also associate, in each photo, data coming from the GPS signal (Latitude, Longitude Altitude, Speed and Time), atmospheric pressure and temperature sensor. So, our 3D mapping is not only based on images, latitude altitude and longitude, as the common 3D mapping. To do that task, we include two 8M pixels RGB cameras in the satellite to take, simultaneously, photos. The cameras are in different places on the can, one in front and other on the downside of the can. The goal of this scientific mission (secondary mission) was using the parameters described previously, we intend to analyze: the relief, biodiversity and its fauna and flora. This knowledge helps in deforestation, species control and terrain mapping with the intention of inspect regularly and using an easy way, like our secondary mission. The project is directed to the environmental aspect in order to take care of the ecosystem of the Island of Santa Maria in Azores.

This kind of mapping can also be helpful to the forestry supervision. With detailed maps, illegal logging can be detected and tracked, tree count can be determined, and the health of the forest can be monitored. With this data, they can effectively distribute their resources for a timely response. The system architecture, present in Figure 1, consists of two raspberry pi zero with two cameras in each responsible for video and photos acquisition. The system includes a microcontroller, Arduino Nano, for data acquisition from sensors (altitude, pressure and temperature). All data collected are stored in SD card. Microcontroller is responsible for RF communication at 433MHz to

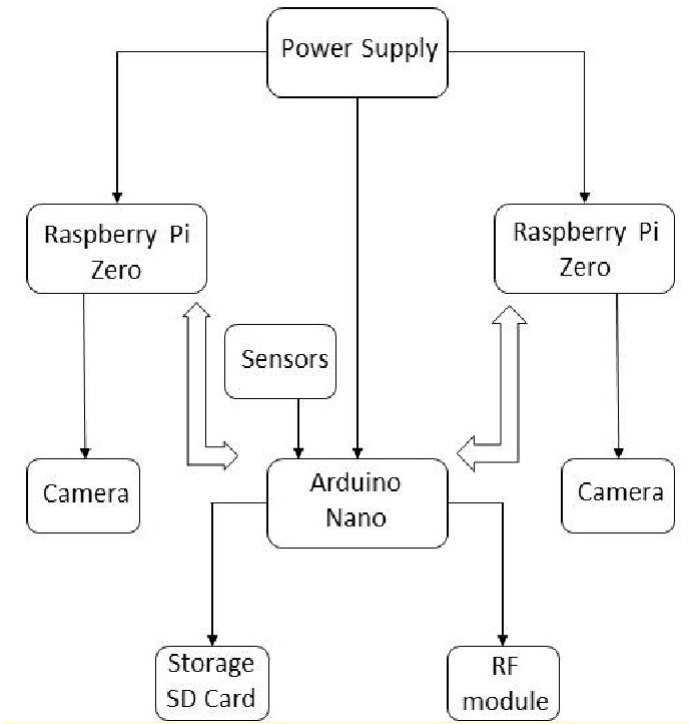
the ground station. This system have the following technical aspects: radio transmission rate for data collected from sensors, 19200 bps and 15 imagens per second, stored in SD card forraspberries. The total consumption is 523 mA, the details are present in Table 1.

Table 1. Total consumption.

Radio 433 MHz	42 mA
Sensor: BMP280	< 1mA
Arduino plus SD card	140 mA
Two raspberries plus SD card	240 mA
Two cameras	100 mA

We use 9V DC batteries for power supply of the pico-satellite. This is also alimitation of this system because we don't optimize the space inside the can.

Figure 1. System architecture.



3. CASE STUDY - 3D GROUND MAPPING THE SURFACE OF SANTA MARIA ISLAND – AZORES

We test in Azores Island this mission, our pico-satellite is launched using a rocket, 1 km. and we have the following results, present in Figures 2, 3 and 4.

Figure 2. Pressure and Temperature during the mission.

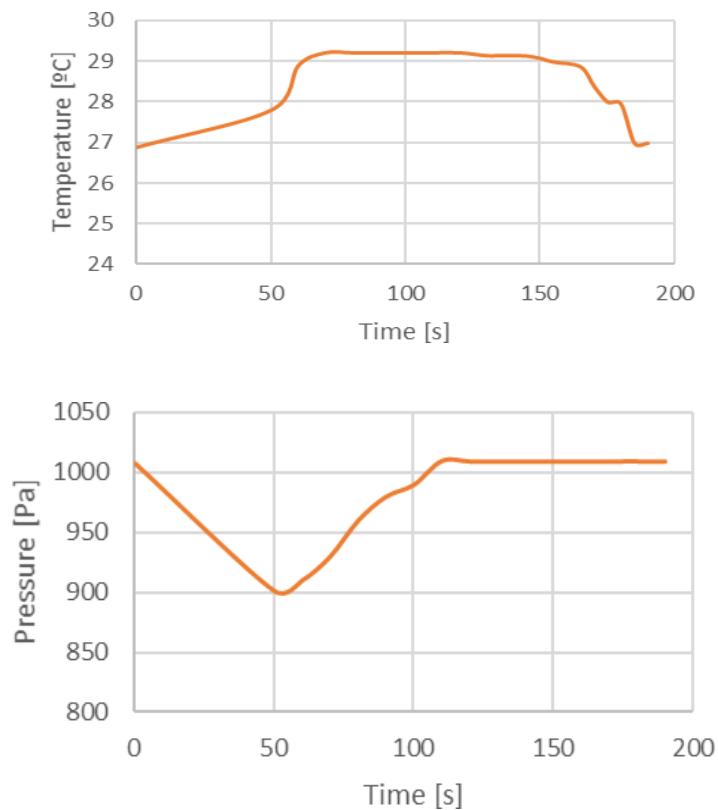
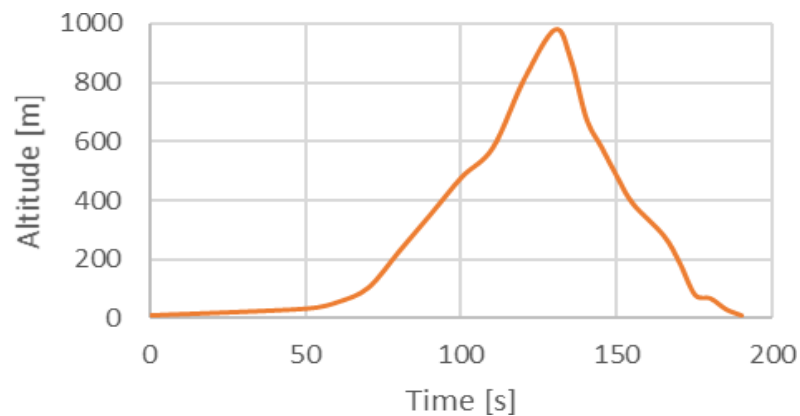
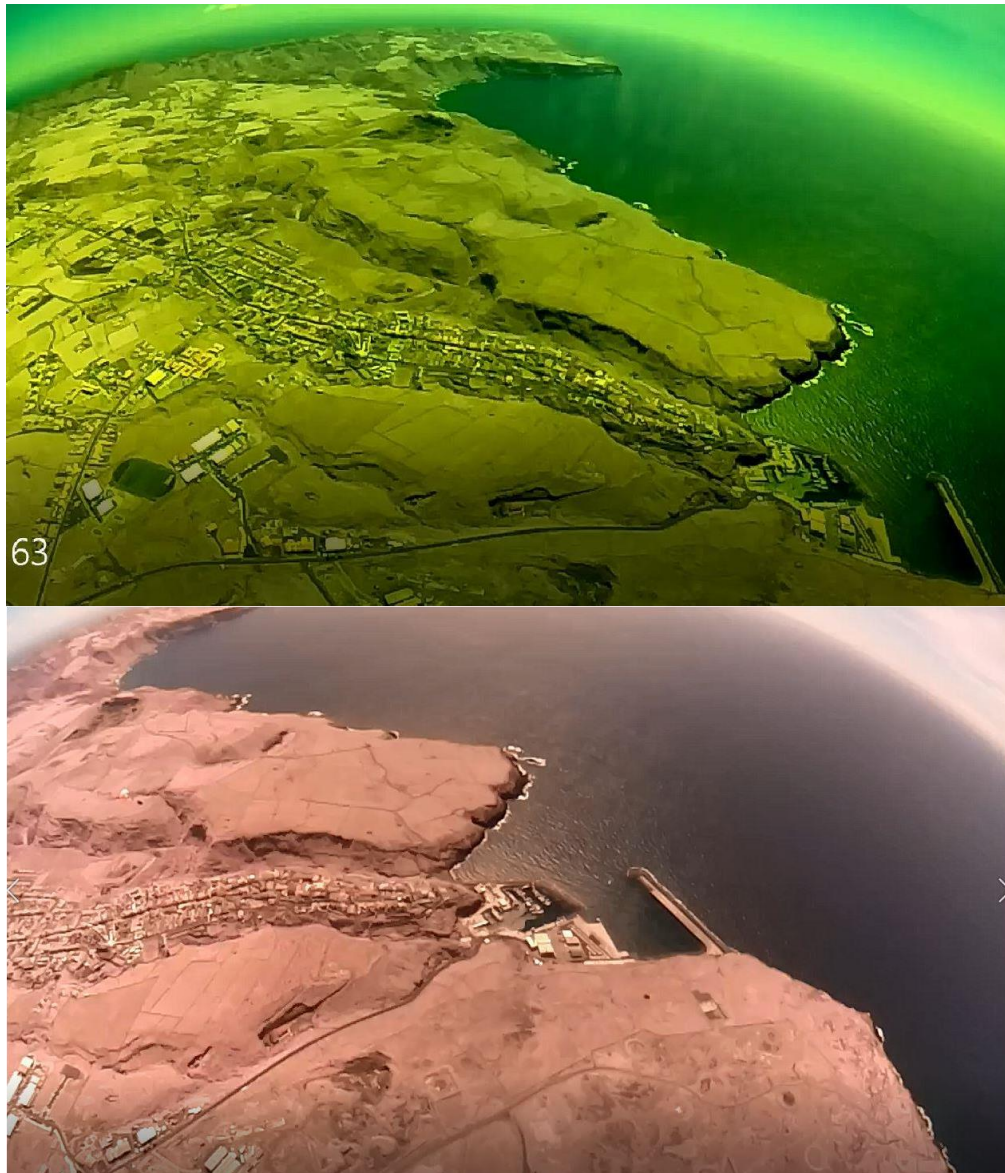


Figure 3. Altitude during the mission.



CANSAT launch and descent is 200 seconds as we can see in the Figures 2 and 3. In Figure 3, is possible to see the major altitude of 1 km and the time of descent, 75 seconds. The transmission radio was approximately 200 seconds, but only 75 seconds is need because the of 125 seconds the pico-satellite is inside the rocket. So based on this aspect we can develop another approach to focus only in this 75 seconds to transmit in real time photos and data from sensors. Another important aspect is trying to reduce the power consumption of the pico-satellite, based on the integration of hardware.

Figure 4. Photos of the Santa Maria Island

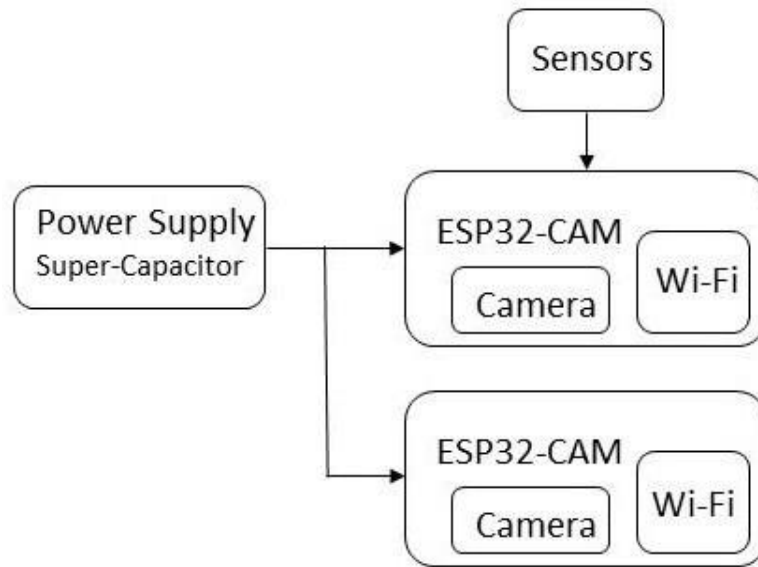


So, our new objective is proposing a new data rate of transmission changing the radio interface, more integration of all hardware, reduce power consumption and the scale of the pico-satellite.

4. NEW HARDWARE DESIGN OF PICO-SATELLITE

This new design consists in two ESP32-CAM with 4 MB memory, 160 MHz of clock frequency, camera interface inside and Wi-Fi communication – 2.4 GHz, the sensors used is the same, BMP280.

Figure 5. New System Architecture



Using ESP 32 it's possible to change the Tx power consumption, impossible to change using the previous RF module. Now we change to 1 mW Tx power consumption using 802.11b with a transmission rate of 1 Mbps and a power consumption of 310 mA with the flash lamp turn on. Reduced to half with flash lamp turn off. So, with this new design based on SoC module (ESP32-CAM), we reduce approximately 67% of the power consumption and also the size of the hardware, very important to fit inside the can.

We tested the new system architecture in laboratory and after we launched pico-satellite from a building at an altitude of 110 m. Radio was completely satisfactory because we got all data before, during and after the launch of the pico-satellite. The pressure vs time graphic is shown in Figure 6, pressure is calculated every second during the falling motion (at time=0s the pico-satellite was throw from the building, while t=34s is landing time). The measurements with the temperature sensor showed an excellent accuracy too (Figure 7). We know that in normal conditions temperature decreases with the increasing of altitude.

Figure 6. Pressure during descent

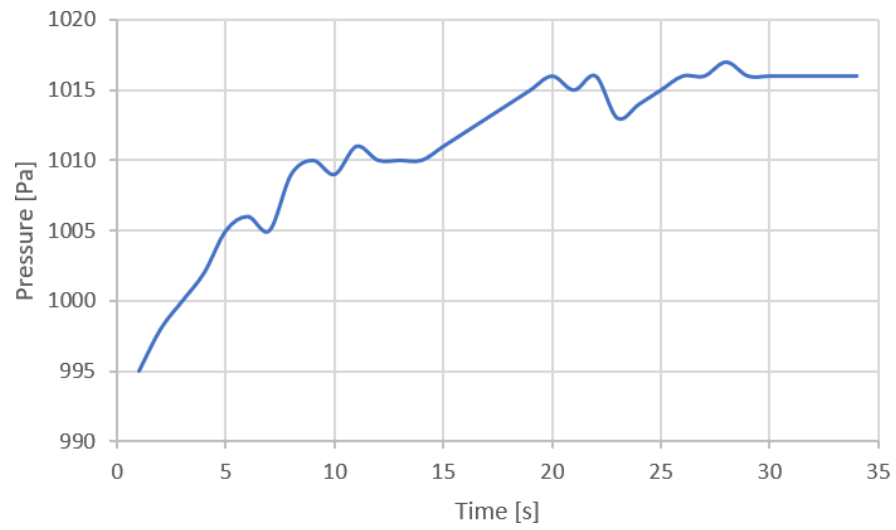


Figure 7. Temperature during descent

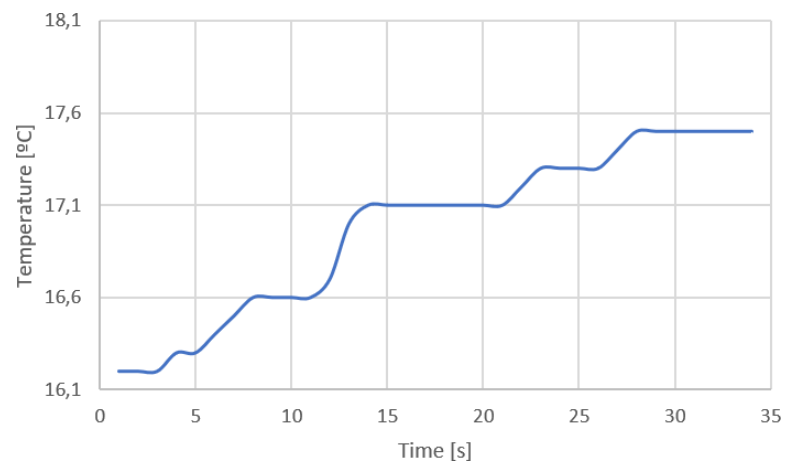
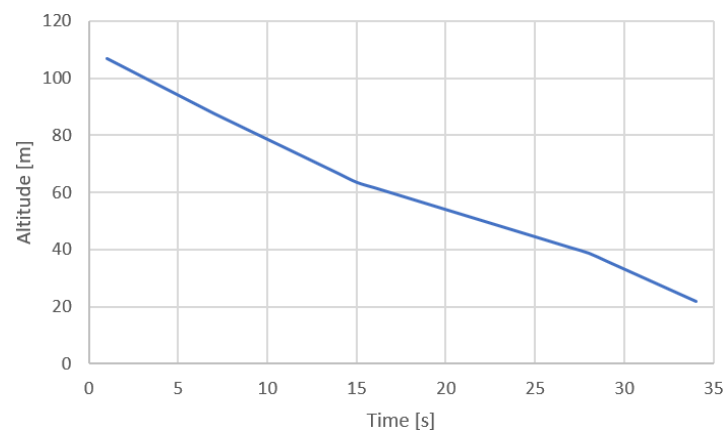


Figure 8. Altitude during descent



5. PREDICTIVE MODEL FOR POWER CONSUMPTION

Based on the results in laboratory and the launch of the new pico-satellite design we try to find the best capacitance for the super-capacitor. Power consumption, P is given by:

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

where V is power supply of the pico-satellite in V and I , current consumed in mA. Energy, W in J, is given by:

$$W = P \cdot t \quad (2)$$

where t in the descendent time of the pico-satellite in seconds and also

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot V^2 \quad (3)$$

where C is the capacitance of the super capacitor in F. If we related (1), (2) and (3), it can be obtained (4),

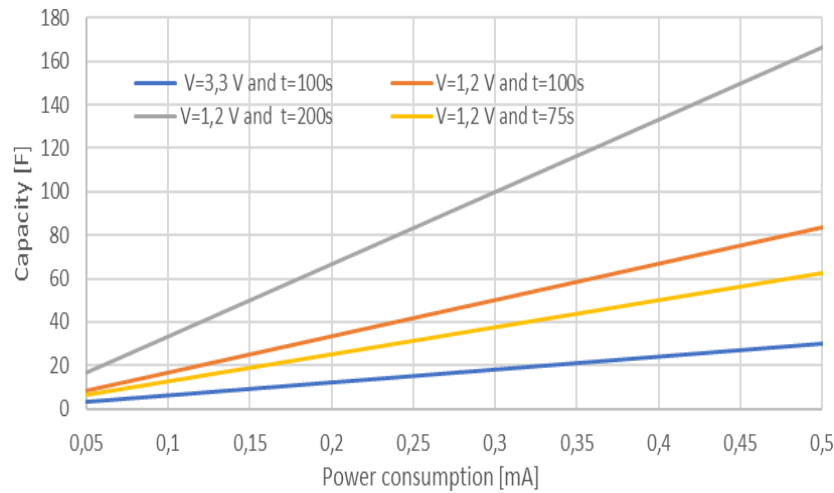
$$C = \frac{2 \cdot I \cdot t}{V} \quad (4)$$

for the capacitance of the super capacitor and (5) for the current consumed

$$I = \frac{C \cdot V}{2 \cdot t} \quad (5)$$

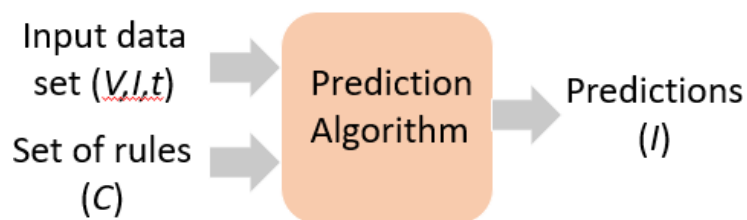
In the new architecture we use a super capacitor of 100F/2,7V and a DC-DC step-up converter to push voltage to 3,3V. According to calculus based on (4), the super capacitor value is near 50F (see Figure 9), we duplicate the value because the discharge curve have not a flat voltage curve during the time, is very roughly during the time, we can lose 50% of the capacity.

Figure 9. Capacity vs Power consumption for the different cases tested



After this analysis (Figure 9), we created a prediction model based on a online tool TADA-Ed [6]. TADA-Ed stands for Tool for Advanced Data Analysis in Education. It is a Data Mining (DM) platform dedicated to teachers, allowing them to visualize and mine students on-line exercise work with the aim of discovering pedagogically relevant patterns. Most of the time, prior to mining, the data stored in a database needs some transformation. TADA-Ed contains pre-processing facilities so that users can transform the database tables to a format that, when used with a DM algorithm, can generate meaningful results for the easy and sample predictive models.

Figure 10. Predictive Model for Power Consumption



In Figure 10, it can be shown the predictive model developed and applied in TADA tool. The predicted results based on DM algorithm of TADA tool are: for 3,3V of power supply (new architecture proposed) and for a descent time of 100 seconds, the predicted current consumption is 235 mA; for a 1,2V of power supply (more integrated architecture – SoC, based on Complementary Metal-Oxide Semiconductor (CMOS) technology) and for a descent time of 100 seconds, the predicted current

consumption is 141 mA and finally for a descent time of 200 seconds and 1,2V power supply the predicted current consumption of the pico-satellite will be 97,5 mA.

The accelerating growth in wireless systems for sensing and monitoring applications has originated a high demand not only for low-power autonomous devices but also for ultra-low cost SoC combining single chip radio with baseband signal and digital data processing [7]. Target applications, such, high-density environmental sensing networks IoT, will be massively available if it is removed the requirement of explicit human action for energy recharge. A second concern for the deployment of large numbers wireless sensor networks is the cost of each individual remote device. Standard digital CMOS technology offers the best trade-off between cost versus performance and facilitates the integration of the digital and analog circuit blocks in the same wafer, which is a fundamental characteristic to build SoC and/or single chip radio [7]. The parametric signal conversion technique [8], strongly developed during the fifties due to its low-noise performance, was progressively replaced by transistor in a transconductance operation mode. Most recently, due to the intrinsic gain degradation in nano-scale MOS transistor, the parametric approach was revisited and adapted to the CMOS technology.

6. CONCLUSION

With this work, we start from a real mission of a pico-satellite (using 5V power supply and more or less 523 mA current consumption) in Azores Island, we collect the data proposed by our mission. After we create a new approach of system architecture with low-power, low-cost and with more integration of hardware system. We test also in a real scenario, using 3,3V power supply and we verify a reduction of 67% of current consumption (310 mA). Finally, we use DM algorithms to predict current consumption for the future use in CMOS technology, with 1,2V power supply and DM algorithm predict 141 mA for a descent time of 100 seconds and 97,5 mA for 200 seconds. The descent time of 200 seconds maybe occurs because with this new approach using CMOS technology, the system will be much lighter compared with traditional CANSAT (330 g of mass). The future work will be design a SoC that integrate sensors, microcontroller, RF and DC-DC step-up converter. The only part outside the SoC will be the cameras.

REFERENCES

3GPP TR 45.820 v13.1.0 Nov. 2015

3GPP TSG RAN Meeting #65 RP-141660 Sept. 2014

P. Stuckmann, The GSM evolution: mobile packet data services, West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 2003

E. Dahlman, S. Parkvall and J. Sköld, 4G:LTE/LTE -Advanced for mobile broadband, Oxford, UK: Academic Press, 2011

3GPP TSG RAN Meeting #69 RP-151621, Sept. 2015

Benchaffai, M., G. Debord, A. Merceron, & K. Yacef. "TADA-Ed, a tool to visualize and mine students' online work" in Proceedings of International Conference on Computers in Education, (ICCE04), B. Collis (Eds), pp 1891-1897, Melbourne, Australia: RMIT (2004).

K. Iniewski, Ed., Wireless Technologies: Circuits, Systems, and Devices. NY, USA: CRC Press 2007.

S. Ranganathan and T. Tsividis, "A MOS capacitor-based discrete-time parametric amplifier with 1.2V output swing and 3 μ power dissipation", in IEEE International Solid-State Circuits Conference, ISSCC 2003, Digest of Technical Papers, 2003, pp.406-502.

CAPÍTULO 05

IMPORTANCE OF THE EFFECTS OF SPREADING FACTOR INTERFERENCE IN COLLISIONS LORA RADIO INTERFACE

Luis Miguel Rego Pires

Master in Electrical and Computer Engineering

Institution: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – ISEL/DEETC

R. Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007 Lisboa

Institution: Instituto Politecnico da Lusofonia – IPLUSO/EET, Campo Grande, 400, 1700-098 Lisboa

Emails: luis.pires@isel.pt and luis.pires@ipluso.pt

ABSTRACT: The Internet of Things (IoT) is a concept in which everyday objects and devices are equipped with Internet connectivity, allowing them to exchange information. In recent years, interest in this concept has increased which has led to the creation of numerous applications and interested customers. The Long Range (LoRa) technology is part of the technologies that support IoT equipment. LoRa technology has increased a IoT of popularity due to its ability to work with a low power consumption, a very important factor when referring to IoT devices, as they are very dependent on your battery. In this work, we study the importance of interference in the Spreading Factor (SF) and collision effects for the LoRaWAN Radio Interface. To achieve the intended objectives, we will start by making an in-depth study of some types of Wireless Sensor Networks (WSN) networks. Next, we will carry out practical tests in outdoor environment. More than a thousand practical measurements were made between a gateway and a LoRa device, which will be explained throughout this paper. These measurements are used to compare the real values with the theoretical ones for importance of the SF interference in collisions.

KEYWORDS: IoT; LPWAN; LoRaWAN; LoRa; Spreading Factor; Collision Effects; Random-Access Protocols.

RESUMO: A Internet das Coisas (IoT) é um conceito em que objetos e dispositivos do cotidiano são equipados com conectividade com a Internet, o que permite a troca de informações. Nos últimos anos, o interesse por esse conceito aumentou, o que levou à criação de vários aplicativos e clientes interessados. A tecnologia Long Range (LoRa) faz parte das tecnologias que suportam equipamentos de IoT. A tecnologia LoRa ganhou popularidade devido à sua capacidade de trabalhar com baixo consumo de energia, um fator muito importante quando se trata de dispositivos de IoT, pois eles dependem muito de sua bateria. Neste trabalho, estudamos a importância da interferência no Spreading Factor (SF) e os efeitos de colisão para a interface de rádio LoRaWAN. Para atingir os objetivos pretendidos, começaremos por fazer um estudo aprofundado de alguns tipos de redes de sensores sem fio (WSN). Em seguida, realizaremos testes práticos em um ambiente externo. Foram feitas mais de mil medições práticas entre um gateway e um dispositivo LoRa, que serão explicadas ao longo deste documento. Essas medições são usadas para comparar os valores reais com os teóricos quanto à importância da interferência SF nas colisões.

PALAVRAS-CHAVE: IoT; LPWAN; LoRaWAN; LoRa; Fator De Espalhamento; Efeitos De Colisão; Protocolos De Acesso Aleatório.

1. INTRODUCTION

In recent years, one of the emerging technologies that have had big impact on the field of research is WSN given its diversity of features and applications. The accelerating growth in IoT for data communication, for sensing and monitoring applications (ranging from biomedical to environmental targets) has originated a high demand not only for low-power autonomous devices but also for ultra-low-cost System on Chip (SoC) combining single chip radio with baseband signal and digital data processing [1]. Target applications, such as Body Area Networks, IoT and high-density environmental sensing networks, will be massively available if it is removed the requirement of explicit human action for energy recharge. For the deployment of large numbers of WSN is the cost of each individual remote device. Standard digital CMOS technology offers the best trade-off between cost versus performance and facilitates the integration of the digital and analog circuit blocks. Moreover, lowering the transceiver cost implies the use of nano-scale CMOS technology.

In this paper, we study the importance of interference in the SF and collision effects for the LoRaWAN Radio Interface. We first show (section 2) the main contributions to the main theme of the conference. In section 3, we summarize WSN and LoRa Network. In section 4, we describe our purpose of this work, that consists in characterize reference scenario for p measurements to study SF interference in collisions LoRa Radio Interface. Section 5 presents results and draw the conclusions.

2. TECHNOLOGICAL INNOVATION FOR DIGITALIZATION AND VIRTUALIZATION

The development of industry 4.0 is the combination of hardware and software into smart embedded systems will be greatly resting in Artificial Intelligence (AI) applications. However, sometimes those smart devices are generally referred to as a whole scale with blurred barriers, where it is difficult to establish when one element ends and the other starts [1]-[2]. For example, during the first years of development of this concept, IoT was proposed to refer just to uniquely identifiable interoperable connected objects with Radio-Frequency Identification (RFID) technology. Later on, however, as the connectivity of these networks were getting bigger and including new technologies and concepts, the term was growing with it to include all these innovations, applied to measure, identify, position, track and monitor objects, referring

now to IoT more as a dynamic global network where self-conscious objects connect with each other. In this new context where CPS can be considered the proper “brains” inside industry 4.0, one way to establish some frontiers can be to consider IoT as the global framework where identification and sensor technologies become integrated with interpretation technologies like Cyber-Physical Systems (CPS). In other words, CPS forms part of IoTs new step towards its development, with the help of Information and Communications Technology (ICT) elements to guide the autonomous communication between all of them [1]-[3].

Digital transformation is the ongoing process of improving business operations and products with digital solutions, so the use of IoT devices enables teams to collect new data and do so much more with it, like make better predictions and increase the longevity of products [3]. Utilizing IoT is digital transformation. IoT can not only improve existing processes but enable new and better processes and products to be created.

3. WSN AND LORA NETWORK

The IoT consists of a protocol stack architecture [4] with a view to converge embedded systems, control, monitoring, among others in a the single most intelligent and autonomous network [4] allowing the user to consult statistics and make decisions on a non-face-to-face basis. This model can be divided into three to five distinct layers. Emphasizing the more simplistic three-layer model: Devices Layer, contains devices that collect data such as sensors, wearables, among others; network layer, interconnects all devices and performs data transfer to servers; Application layer, processes the information received by sensors and other devices that provide.

3.1 Wsn and lpwan

To replace wired networks (among others, due to the cost of cabling), new technologies have been developed such as wireless networks, or wirelessly. With the success of these networks in the market, other areas such as low power wireless circuits and equipment with greater efficiency that led to the development of WSN networks [4], widely used in IoT. WSN, consists of the grouping of a set of sensors for monitoring physical or atmospheric conditions with the ability to communicate each other. This architecture has characteristics like those of ad-hoc networks. However,

this system presents differences, in the sending of information obtained from the sensors to a base station, called of sink. From this gateway the received data is sent to the Internet. Typically, the WSN network presents a tree typology. In this architecture, intermediate nodes are used to transmit the data between the sensors and the gateway [4]. Communication between the sensory nodes and the respective base station is established through a wireless network, there are several possible typologies for your configuration [4]. One of the typologies is the Low Power Wide Area Network (LPWAN). LPWAN is a transmission network that achieves a compromise between energy consumption, range, and transmission rate [4]. In this case, this typology allows communications over long distances, reducing the binary transmission rate and keeping energy consumption low due to at low propagation power.

3.2 Lora technology

LoRa, is a radio technology used by the LoRaWAN protocol (LoRa Alliance) [5] in the category of LPWAN network technologies [6]-[7]. It is a proprietary technology from Semtech [6] and then implements the physical layer, based on a network with star typology [7] and with a Chirp Spread Spectrum (CSS) modulation [7]. CSS is a spread spectrum technique that uses modulated chirp pulses. in broadband linear frequency to encode information [7]. Chirp is a sinusoidal signal whose frequency increases or decreases with frequency, time giving rise to the so-called up-chirp and down-chirp. This technique is used in LoRa networks to provide a balance between sensitivity and transmission rate, operating in a bandwidth 125 kHz, 250 kHz or 500 kHz low for uplink and 500 kHz for downlink, depending on the region where it is applied and the width of hired band. In addition to the bandwidth, the frequencies themselves are different depending on the region, as they are unlicensed frequencies, these being: 433 MHz and 868 MHz for Europe. LoRa uses SF, orthogonal allowing to preserve the battery life of the connected nodes. These factors correspond to the number of bits of information per symbol, the number being bits given by 2^{SF} chirps. The higher the SF, the more chirps will be used to represent a symbol. The network can have values of SF between 7 and 12, considering the environmental conditions in which this is inserted, the lower the SF, the higher the number of chirps sent per second [7]. Having a high SF makes time antenna is longer, resulting in greater sensitivity because the receiver has more opportunities to sample the signal strength. So, the greater this factor, the

further the signal can be received, that is, the longer the transmission distance.

The duty cycle represents the fraction of time a resource is busy. In the case of CSS modulation (LoRa), in a single channel, with a duty cycle than 20%, data transmission would occur in two parts of time in each ten, for example. To calculate the duty cycle value of a signal, equation (3.1) is used, where the Time on Air (ToA) corresponds to the time in the air, while *Tinterval* corresponds to the waiting time between transmissions, From (3.1) we get the fraction of time the packet is sent. The Tinterval value is a defined parameter dependent on applicability and need. The ToA is defined as the number of bytes of the transport without payload, by the SF, by the defined frequency for each region and by the bandwidth (BW). Considering a bandwidth and fixed frequency, when varying the SF, the higher it is, lower would be the transmission rate and higher would be ToA. LoRa modulation adds the Forward Error Correction (FEC) technique in the transmission of information to avoid channel noise and facilitate signal emission, as well as enable error correction at the receiver by inserting redundant parity bits for each useful bit. This proportion of useful bits and redundancy is called the Coding Rate (CR). Typically, this rate is usually 4/6 or 4/8 [7]. This means that for every four useful bits, there are two or four parity bits establishment fee is compatible with the conditions of the identification channel streaming. If there is a greater interference in this, then increase this rate in order to reduce channel errors. However, the greater the CR value, the longer the transmission duration [7]. Thus, the bit rate (R_b) can be described by (3.2), concluding that the higher the code rate, the lower the bit rate. To implement any network, it is necessary to obtain a compromise among several factors, including energy consumption, transmission power, bit rate and transmission distance.

4. SPREADING FACTOR INTERFERENCE IN COLLISIONS LORA RADIO INTERFACE

In wireless networks there is collision of frames due to several factors. It can be said that there is a collision when two frames appear at the same time and the receiver cannot process them or the channel is busy, and a sender sends a frame. Due to the delay time between sending and receiving the frame, a problem is created in accessing the medium in communication networks. When collisions occur in wireless networks, the information sent in these frames will collide and mix, resulting in noise, so that it

cannot be recovered unless the receiver can filter the desired information. In cases where this filter does not exist, the sender needs to resend the information until it is successfully delivered, which causes a big problem for the network when thinking on a large scale. However, there are several techniques to deal with this problem, where some select a random resend time when collisions are detected, others test the medium to verify that the receiver is listening and clear before transmitting.

In the LoRa network, frame collisions happen when multiple packets overlap in time and use the same sending parameters such as SF, BW and Carrier Frequency (CF). When most equipment uses the same configuration, the probability of collision is greater. Also, the selection of SF and transmission power influence the coverage area that due to signal attenuation and distance, some packets do not collide. The probability of packet collisions is also affected by the periodicity of the transmission size and data size.

4.1 Random access protocols

Medium access protocols are protocols that operate at the Medium Access Control (MAC) layer and that allow multiple users to access a shared network, to optimize transmission time and minimize collisions. These protocols can be categorized as being random and controlled: pure ALOHA, slotted ALOHA, CSMA/CD and CSMA/CA. Carrier Sense Multiple Access (CSMA) is a random-access protocol that aims to reduce the number of collisions, both the Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance (CSMA/CA) variant and the Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection (CSMA) variant. /CD). Since we are discussing a scenario for a wireless network, it makes no sense to use CSMA/CA. This protocol requires the device that transmission and reception be simultaneous and in this type of networks communication is done unidirectionally, which desensitizes the receiver. In the case of CSMA/CA, this is a multiple-media access protocol that divides the channel equally among all transmitters within the collision area. Initially this protocol will detect the presence of other carriers in the medium to guarantee that it is free.

4.2 Hardware characterization and scenario of tests

The hardware used to perform the practical measurements: Arduino Uno Rev3, LoRa Bee module v1.1 and Lora gateway LG02, present in Figure 1. The LoRa Bee v1.1 module consists of a Semtech SX1276 [6][7][8] (100 mW transmission power, 300 kbps communication speed, 3.3V supply voltage, IIP3 = -12.5 dBm, RX current 10.3 mA and sensitivity up to -148 dBm). This module allows transmission in multiple modes, working on frequencies of 433, 868 and 915 MHz, being that used was 868 MHz, supporting voltage values of 3.3V. This module is connected to Arduino Uno Rev3, where a program was developed that allowed to vary the characteristics of LoRa technology and send different file sizes. LG02 is a two-channel LoRa Gateway, allows LoRa network to be connected to Wi-Fi, Ethernet and cellular networks. This gateway supports LoRaWAN protocol and LoRa transmission protocol. The main specifications are: LoRa receiver sensitivity of -140 dBm and power input 5 VDC and 2 A current.

Figure 1. Electrical scheme of the transmission and LG02 gateway in the receiver.



The criteria for choosing each position, both for the Gateway and for the LoRa module, were based on the locations that allowed testing propagation conditions such as: Line-of-Sight (LoS), Non-Line-of-Sight (NLoS). In NLoS, obstacles such as: vegetation and buildings. So practical tests: in LoS scenario, ToA, data size, Received Signal Strength Indication (RSSI) and SF. In NLoS scenario with vegetation and with buildings and the same parameters of LoS. The buildings have an average of 5 meters and the vegetation is about 3 to 5 meters long. The height of the gateway is about 5 meters from the ground, the LoRa node 1.8 meters of height from the ground.

5. RESULTS

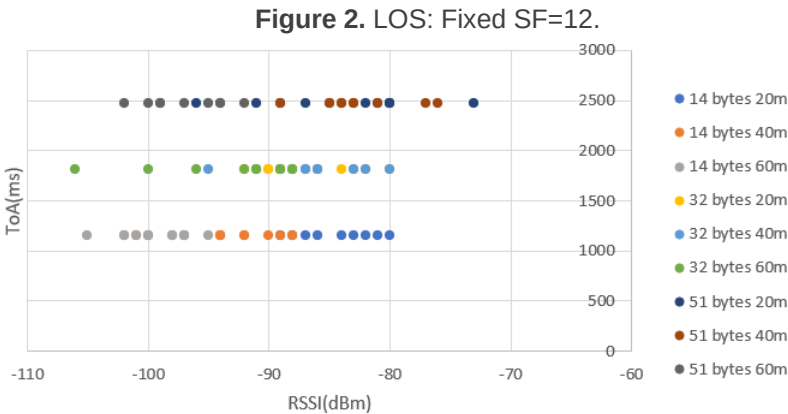
In this section the practical results obtained are presented, dividing them into

LOS and NLOS, at the end the equations of the proposed empirical model are presented. The settings used are summarized in the Table 1.

Table 1. Testing scenarios used.

SF	7, 9, 12
Distance	20 m, 40 m, 60 m (both LOS and NLOS)
Frequency	868 MHz
File size	14, 32, 51 bytes (both LOS and NLOS)
CR	4/5
BW	125 kHz
Time between files	5 seconds
Random Access Protocol	CDMA/CA

So, we started by studying the influence of the *ToA* on the RSSI, Figure 2.



Figures 3, shows the influence of the *ToA* in relation to SF and data size. Figures 4-6, shows NLOS scenario with influence of vegetation and buildings. Figure 5.7. NLOS: Relations between *ToA*, SF and data size.

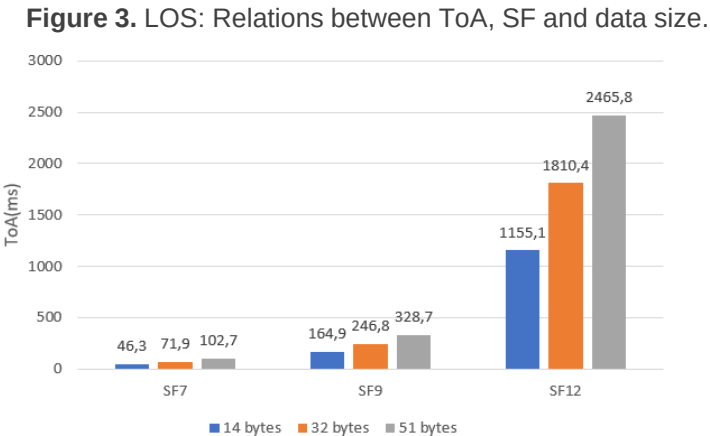


Figure 4. NLOS with vegetation and 51 bytes data size.

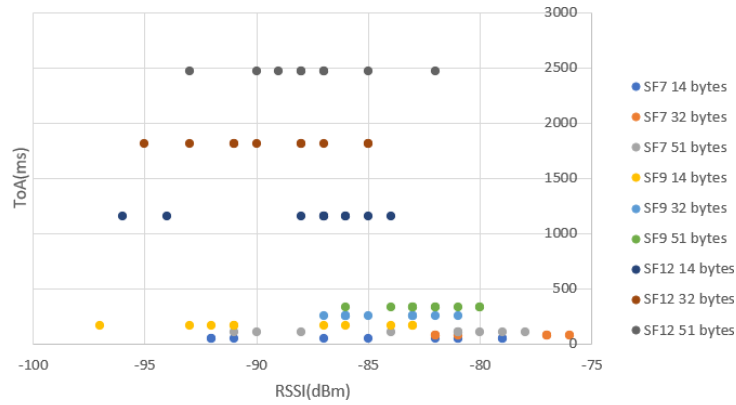


Figure 5. NLOS with buildings and 51 bytes data size

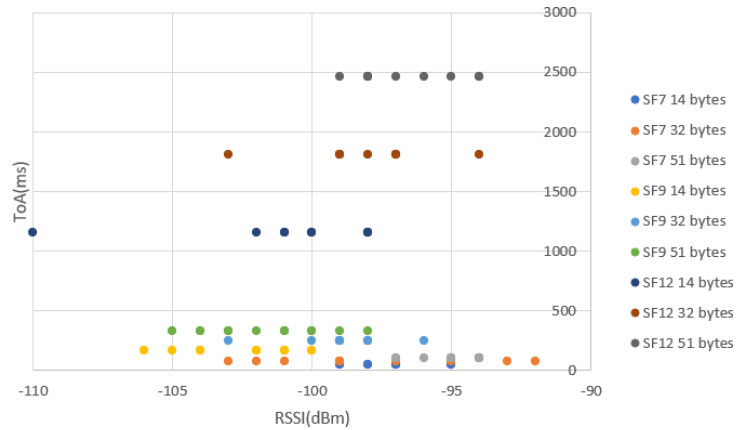
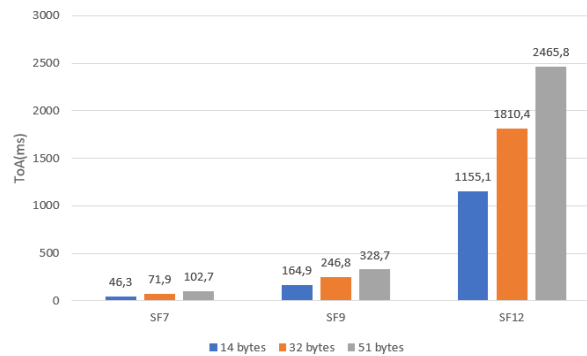


Figure 6. NLOS: Relations between ToA, SF and data size.



6. CONCLUSION

By analyzing the results of measurements carried out in the field, we could see that as we have an increase in SF, the ToA increases considerably. When we use a SF with higher values, for example 12, we get a greater distance in urban and rural environments, however the transmission time increases significantly, and due to this

factor, the medium is occupied during a longer time window resulting in a higher value of collisions. In situations where the SF is low, for example at 7, the channel occupancy is lower, which considerably reduces the probability of collision. It is important to mention that as the SF increases, the RSSI will have more stable values, which can lead to an optimization in the network. Regarding the collision when sending packets, it was also possible to see that when the devices are in LoS, there is little loss and collisions of packets. In terms of the probability of packet collision, there was only an average packetloss of 10% for an SF=12 with a 51-byte file at 60 m, being 12% for NLoS with vegetation and 16% for NLoS with buildings.

REFERENCES

Pires LM, *The Importance of Smart Embedded Systems in Industry 4.0*, Portuguese Robotics Magazine Nº112, 3rd magazine of 2018.

Shi, J.; Wan, J.; Yan, H.; Suo, H. A survey of cyber--physical systems. In Proceeding of the 2011, International Conference on Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), Nanjing, China, 9–11 November 2011.

El-Gohary, Hatem and David Edwards, and Mohamed Slim Ben Mimoun, eds. *Handbook of Research on IoT, Digital Transformation, and the Future of Global Marketing*. Hershey, PA: IGI Global, 2021.

Perry Lea, *Internet of Things for Architects*, Packt Publishing, 2018

<https://lora-alliance.org>

www.semtech.com

AN1200.22 - LoRa™ Modulation Basics, Semtech Corporation, 2015.

Alves A; Pires L.M. and Gonçalves L.C., *Development and analysis of new implementations of MAC proto-cols and mobility models in LoRa networks*, DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv9n3-023>

CAPÍTULO 06

CONSTRUÇÃO DE UM ROBÔ MÓVEL PARA ENSINO DAS DISCIPLINAS DOS CURSOS DE ENGENHARIA

Thiago Rodrigues Garcia

thiago.rgarcia@hotmail.com

Universidade Federal de Santa Maria

Av. Roraima nº 1000, bairro Camobi, 97105-900 - Santa Maria – RS

Ricardo Lago Valente

lagovalente@hotmail.com

Ricardo Dias Schirmer

ricardo.schirmer@gmail.com

Junior Costa de Jesus

dranaju@gmail.com

Bruno Schuster

bruno_schuster@hotmail.com

Marlon Berber Severo

marlonbsevero@gmail.com

David Roy Richards

royrichards@uol.com.br

Carlos C. Conrad

caceconrad@gmail.com

Rodrigo da Silva Guerra

rodrigo.guerra@ufsm.br

Rodrigo Mattos da Silva

rodrigo-mattos@hotmail.com.br

Daniel Fernando Tello Gamarra

daniel.gamarra@ufsm.br

RESUMO: Neste artigo é descrita a construção de um robô móvel de baixo custo que visa servir de suporte para o ensino em engenharia principalmente, nos cursos de engenharia de controle e automação, computação e elétrica. O robô móvel é composto por motores de corrente contínua, encoders, drivers, microcontrolador (Arduino), sensores ultrassônicos e de movimento (kinect), câmera além de outros materiais que suportam toda a estrutura tais como MDF, hastes de alumínio e acrílico sendo que estes, apesar de ter valor relativamente alto, foram adquiridos através de sobras e sucatas doadas pelo Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica (NUPEDEE), setor em que foi fabricado o robô e, também, onde está situado o grupo de pesquisa em robótica. Este artigo descreve alguns resultados de trabalhos já

desenvolvidos utilizando o robô móvel e, também, os resultados da aplicação de um pequeno questionário nos alunos que utilizaram o robô.

PALAVRAS-CHAVE: Robótica Móvel; Robótica No Ensino; Arduino.

1. INTRODUÇÃO

A robótica é uma ciência que se dedica a desenvolver dispositivos capazes de realizar tarefas automaticamente empregando conceitos e conhecimentos de várias áreas como mecânica, elétrica, eletrônica e computação. Trabalhar em Robótica significa estudar, projetar e implementar sistemas ou dispositivos que, com a utilização de percepção e de certo grau de “inteligência”, sejam úteis na realização de uma determinada tarefa, pré-definida ou não, que envolva interação física entre o sistema (ou dispositivo) e o meio onde a tarefa está sendo realizada (PIO *et al.*, 2006).

Dentro desta ciência, encontra-se a robótica móvel. “Uma definição correta de robô móvel propõe um conhecimento incerto, mediante a interpretação da informação fornecida através de seus sensores e do estado atual do veículo” (SECCHI, H. 2008). No campo da robótica móvel há muitos conhecimentos que são o foco de muitos projetos de pesquisa como, por exemplo, técnicas de controle de navegação, localização e mapeamento. As aplicações são muito amplas tais como: robôs bípedes, aéreos, aquáticos e veiculares (ROMERO *et al.*).

No contexto de ensino, a construção de um robô móvel como plataforma de desenvolvimento e estudo se torna muito útil tendo em vista que para a aplicação dos conhecimentos e conceitos citados anteriormente, pois, somente simulações não tem impacto motivacional no aluno. O caráter multidisciplinar do uso da robótica na educação, a sua utilização no ambiente de ensino pode promover uma expressiva integração entre diferentes disciplinas e melhorar a formação dos alunos através de atividades práticas em equipe (SILVA, 2011).

A robótica móvel proporciona facilidade na exploração de conceitos matemáticos, ambientes de software, dispositivos eletrônicos, sensores, motores elétricos, conversão de sinais analógico-digitaes e digitaes-analógicos, projeto de hardware, microprocessadores, inteligência artificial, projeto em equipe, entre outras,

tornando-a um catalisador eficiente e motivador para a aquisição de novos conhecimentos (COELHO & VALLIM, 2001).

Diante deste cenário, o trabalho focou em dois objetivos principais, sendo o primeiro o desenvolvimento e construção de um robô móvel equipado com componentes mecânicos, elétricos e software. O segundo objetivo, estava centrado na utilização do robô como um recurso didático importante para o ensino de algumas disciplinas dos cursos das engenharias, este objetivo é descrito no artigo mediante a implementação da odometria do robô feita pelos acadêmicos. O artigo apresentado esta dividido em 5 seções, sendo a primeira uma breve introdução, a segunda seção explica a metodologia de construção do robô, a terceira seção apresenta a aplicação do robô em tarefas de ensino e pesquisa, a quarta seção descreve os resultados preliminares obtidos, e finalmente a ultima seção elucida as considerações finais.

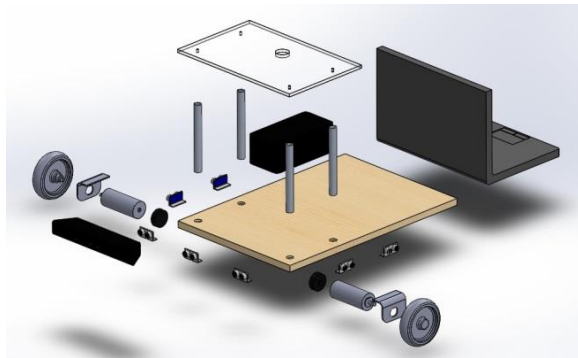
2. METODOLOGIA DE CONSTRUÇÃO DO ROBÔ

Esta seção descreve de uma maneira detalhada a metodologia seguida para a construção do robô móvel, o robô foi construído pelo grupo de pesquisa de robótica da universidade chamado de GARRA (Grupo de Automação e Robótica Aplicada). A metodologia seguida para a construção do robô envolveu três componentes principais, sendo a primeira o projeto mecânico, a segunda parte o projeto elétrico, a terceira parte a programação do software.

Projeto Mecânico do Robô e Construção

O robô foi projetado mecanicamente para oferecer suporte a diversos tipos de sensores e componentes no estudo da robótica móvel. A base é de madeira MDF com 18 mm de espessura projetada para suportar o peso dos sensores e arquiteturas de sistemas que envolvam notebook como mostra a “Figura 1”.

Figura 1 - Projeto Simplificado do Robô

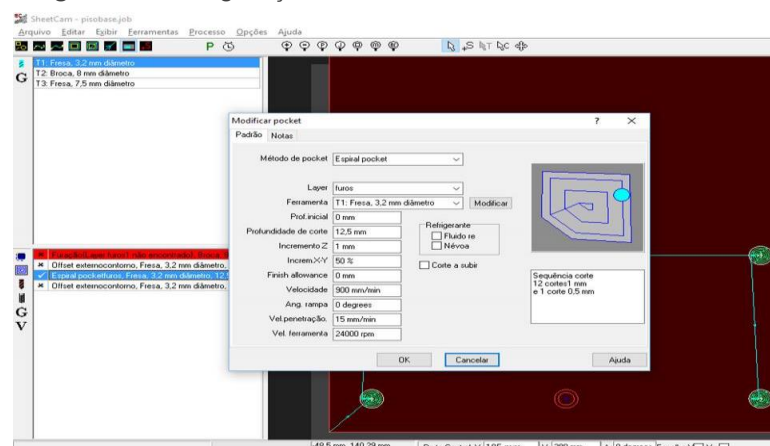


Fonte: O Autor.

Conforme a “Figura 1”, há ainda um pavimento superior de acrílico suportado por 4 hastes cilíndricas de alumínio no qual serve para anexar outros sensores como kinect, sensor laser e câmera. Este segundo pavimento é removível para facilitar a manutenção e conexões entre os componentes.

A fabricação dos furos e rebaixos da base e os componentes que suportam os motores foram realizados em uma fresadora CNC para ter maior precisão e produtividade. A fresadora utiliza o sistema CAD/CAM para executar os programas CNC. Um programa CNC é uma lista de instruções codificadas que descrevem como a peça será usinada, sendo que cada linha do programa é chamada de bloco, e esses blocos são executados sequencialmente (GONÇALVES, 2007). O sistema CAD/CAM permite interpretar a geometria de uma peça criada em software CAD e gerar programas CNC. O software CAM utilizado é SheetCAM. A “Figura 2” e ilustram o ambiente do software SheetCAM e a configuração para a realização do processo de rebaixos na base do robô, respectivamente.

Figura 2 - Configurações no ambiente do software SheetCAM



Fonte: O Autor.

2.2 Projeto elétrico e eletrônico

O robô é constituído de equipamentos elétricos e eletrônicos suficientes para realização de tarefas que envolvam programação e conceitos de robótica móvel, porém, ele foi projetado para suportar outros tipos de sensores como, por exemplo, sensor laser, kinect e giroscópio. Os quais o grupo de robótica já possui e se encontram em fase de estudo.

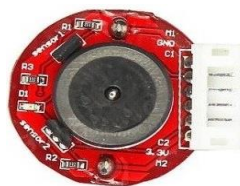
O robô possui 2 motores de corrente contínua, capazes de suportar toda a estrutura e executar trajetórias pré-programadas. Os dois motores CC têm acoplados seus respectivos encoders do tipo incremental para leituras de distância e posição. Possuem resolução de 341.2 PPR, ou seja, para cada revolução em seu eixo, ele gera 341,2 pulsos elétricos. A “Figura 3” mostra o motor com encoder e a “Figura 4” somente o encoder.

Figura 3 - Motor CC com encoder



Fonte: O Autor.

Figura 4 – Encoder



Fonte: O Autor.

Para drenar a corrente para os motores e também protegê-los contra curto-circuito é utilizado o driver MD49, conforme mostra a “Figura 5”. O driver também serve para ler os dados dos encoders, fornecendo pulsos para determinar a sua velocidade de rotação e sentido de giro. O driver MD49 realiza o controle dos motores de corrente contínua utilizados pelo robô para seu deslocamento.

Figura 5 - Driver MD49



Fonte: O Autor.

Um dos sensores muito utilizado em robótica móvel é o sensor ultrassônico (Figura 7) devido a sua praticidade e facilidade de programação. Muito útil para ler informações do ambiente, evitar colisões e desviar de obstáculos. Os sensores de ultrassom foram montados no robô e serão utilizados para aulas de ensino nas quais o robô terá que executar tarefas de evitar obstáculos.

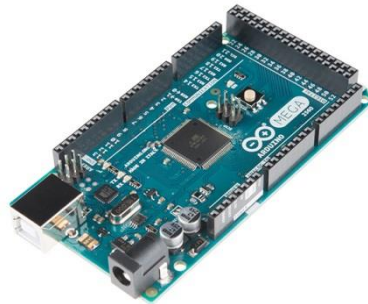
Figura 6 - Sensor Ultrassônico



Fonte: O Autor.

O elemento responsável por abrigar toda a programação, ler os dados dos sensores e controlar os demais dispositivos do robô é o microcontrolador Arduino Mega 2560 (“Figura 7”). Este foi escolhido para suprir os trabalhos iniciais do robô devido aos seus 54 pinos de entrada e saída e, também seu clock de 16 MHz. O microcontrolador Arduino será encarregado de executar as tarefas de baixo nível como o controle dos drivers dos motores de corrente contínua, as leituras dos encoders do driver MD49 ao microcontrolador, e a leitura dos sensores de ultrassom, entre outras tarefas de baixo nível.

Figura 7 - Arduino Mega 2560



Fonte: O Autor.

Figura 8 - Parte inferior com motores e encoders montados



Fonte: O Autor.

Programação do software

A programação é via o ambiente de programação IDE (*Integrated Development Environment*) característica do microcontrolador Arduino. A interface baseada de C++ e se caracteriza por ser muito intuitiva. Para programá-la é necessário interconectar o Arduino com o desktop ou notebook via porta USB. O programa desenvolvido no robô permite ligar e desligar os motores, programar as velocidades de rotação dos motores, fazer as leituras dos encoders, executar trajetórias simples do robô, ler os sensores de ultrassom.

APLICAÇÃO DO ROBÔ MOVEL NO ENSINO

O objetivo de aplicar o robô como recurso auxiliar na didática de ensino dos cursos de engenharia foi plasmada. Será descrito como as diversas tarefas de construção do robô ajudou a fixar os conhecimentos teóricos dos acadêmicos com a

prática. Será explicada também sua utilização didática no ensino da odometria da robótica móvel. A construção do robô móvel implicou um processo de aprendizagem muito importante para os alunos envolvidos na tarefa, os alunos no processo de construção do robô tiveram a oportunidade de adquirir novos conhecimentos e potencializar habilidades e destrezas técnicas, podemos mencionar sucintamente que o processo permitiu aos alunos envolvidos:

- 1.-Conhecer os diversos componentes mecânicos e elétricos do robô (sensores, motores, drivers, etc.)
- 2.-conhecer o funcionamento dos diversos componentes do robô.
- 3.-Fazer o projeto mecânico do robô, a partir da utilização de software CAD.
- 4.-Operações de fabricação, usinagem e corte das peças e componentes da estrutura mecânica do robô.
- 5.-Montagem da parte mecânica do robô.
- 6.-Montagem da parte elétrica.
- 7.-Cabeamento.
- 8.-Programação das rotinas de software de baixo nível para controle dos motores e leitura dos sensores.

Odometria do Robô

O robô móvel foi utilizado no ensino da disciplina de robótica industrial do curso de engenharia de controle e automação. A odometria é um método para identificar a posição de um robô móvel utilizando o conhecimento do movimento da roda do robô, a partir da odometria é possível o cálculo da POSE de um robô móvel. A POSE é a estimativa da posição e a orientação de um robô móvel. A Odometria utiliza para o cálculo da POSE os dados diâmetro das rodas, pulsos dos encoders, perímetro das rodas. Baseados nestes cálculos e utilizando um algoritmo iterativo chamado de dead-reckoning é possível calcular iterativamente a posição (coordenadas x e y do robô) e o ângulo de orientação do robô móvel em cada instante de tempo.

4. RESULTADOS

É possível sublinhar dois resultados atingidos pelo artigo que estão alinhados como os objetivos iniciais do trabalho. O Primeiro seria a construção do robô móvel realizada pelos alunos, e o segundo resultado seria sua utilização no cálculo da

odometria realizada pelos acadêmicos do curso de engenharia. O primeiro objetivo da construção do robô móvel pode ser visualizado na “Figura 9” que mostra a construção final do robô depois da montagem. O segundo objetivo foi a aplicação do robô como recurso e plataforma de ensino, e é descrito sua utilização no cálculo da odometria de um robô móvel. Com o robô já montado, inicialmente foi possível elaborar dois trabalhos finais da disciplina de Robótica Industrial nas quais foi estudada a odometria do robô. Os resultados destes trabalhos foram satisfatórios, pois, o robô executou a programação pré-estabelecida e realizou trajetórias que descreviam formas geométricas onde foi possível calcular a distância conforme a Tabela 1 e a Figura 10.

Figura 9 - Robô móvel fabricado

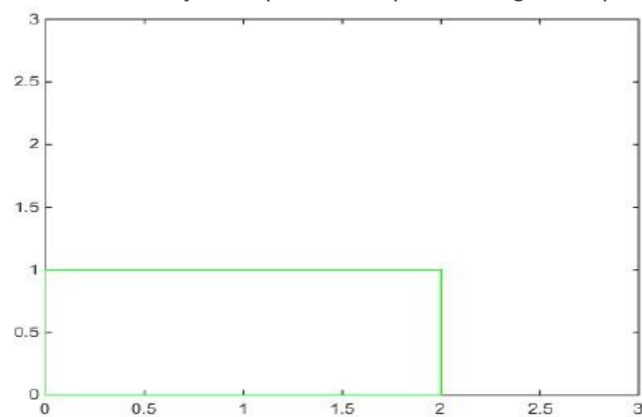


Fonte: O Autor.

Tabela 1 - Dados obtidos através dos encoders

X (m)	Y (m)	ψ (rad)
0	0	0
0,5	0	0
1	0	0
1,5	0	0
2	0	0
2	0	0,785398163
2	0	1,570796327
2	0,5	1,570796327
2	1	1,570796327
2	1	1,570796327
2	1	3,141592654
1,5	1	3,141592654
1	1	3,141592654
0,5	1	3,141592654
0	1	3,141592654
0	1	3,926990817
0	1	4,71238898
0	0,5	4,71238898
0	0	4,71238898
0	0	5,497787144
0	0	6,283185307

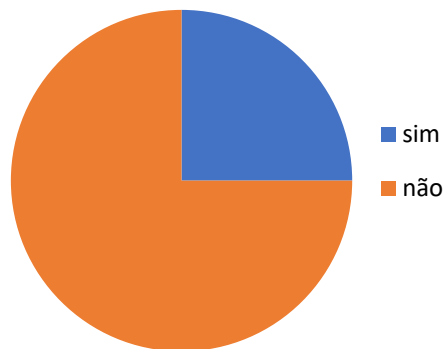
Figura 10 - Gráfica da trajetória percorrida pelo robô gerada pela odometria



Fonte: O Autor.

Um pequeno questionário também foi aplicado aos alunos que utilizaram esta plataforma de ensino. Esse pequeno questionário é muito importante, pois servirá de parâmetro para possíveis melhorias nas aulas práticas. A “Figura 11” mostra que 75% dos alunos que utilizaram o robô, nunca haviam utilizado uma plataforma robótica. O que comprova a carência destes tipos recursos nos cursos de engenharia.

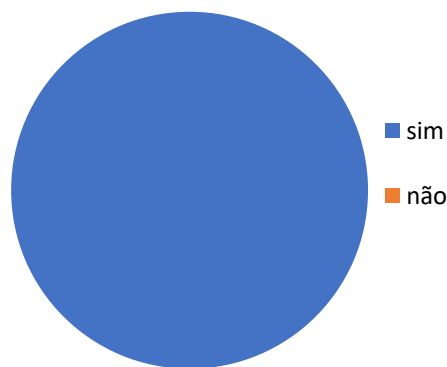
Figura11. Alunos que nunca tinham usado um robô no ensino.



Fonte: O Autor.

A “Figura 12” indica o total de alunos que considera que o robô móvel utilizado ajudou a entender e aplicar os conceitos de odometria utilizados em robótica.

Figura 12. Alunos que consideraram que robô ajudou nos conceitos de odometria



Fonte: O Autor.

A concepção do robô serve de plataforma de ensino em pesquisa interdisciplinar, pois, além da robótica, é possível desenvolver trabalhos que envolvam programação, comunicação de dados dos instrumentos, inteligência artificial e controle aplicado. Esta plataforma também serve como incentivo aos alunos que muitas vezes se sentem desmotivados pela falta de aplicação dos conhecimentos adquiridos em sala de aula. Estes serão utilizados em outros dois trabalhos de conclusão de curso onde um estará focado no desenvolvimento de controlador *Fuzzy* para trajetórias e outro estará destinado a aplicar um algoritmo de localização e mapeamento simultâneo (*Simultaneous Localization and Mapping* - SLAM).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta inicial do trabalho foi concluída tendo como resultados o projeto e construção de um robô móvel o qual foi desenvolvido no laboratório por um grupo de acadêmicos de diferentes cursos de engenharias integrando conhecimentos da área de engenharia mecânica, elétrica, automação e informática; e a aplicação do robô móvel no ensino de disciplinas de engenharia e é ilustrada sua aplicação para o cálculo da odometria do robô móvel. O robô se encontra em utilização no laboratório de robótica do Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica (NUPEDEE). Também está sendo utilizado para estudos utilizando novos tipos de sensores como kinect e giroscópio nos quais farão parte de trabalhos e pesquisas mais complexos. Também está sendo elaborado um projeto de extensão onde ele será levado até escolas de ensino médio com o intuito de despertar a curiosidade sobre a robótica nos alunos e linkar conceitos de sua funcionalidade com as disciplinas vistas em sala de aula.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao NUPEDDEE por fornecer materiais, espaço físico e máquinas para a confecção do robô. Aos integrantes do Grupo de Robótica e a todos envolvidos no trabalho que atuaram de forma direta ou indiretamente.

REFERÊNCIAS

COELHO, L. S.; VALLIM, M. B. R Uma abordagem multidisciplinar de robótica móvel em cursos de tecnologia e de engenharia. Anais: XXIX – Congresso Brasileiro de Ensino em Engenharia. Porto Alegre: 2001

Dirver MD49. **MD49 - Dual 24 Volt 5 Amp H Bridge Motor Drive**. Disponível em < <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/md49tech.htm> > Acessado em 20 maio de 2017.

GONÇALVES, Marco A. F. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. Um Estudo sobre implementação de ciclos de usinagem Através de Programação Parametrizada em Máquinas de Comando Numérico Computadorizado. 2007, 100 p il. Dissertação (Mestrado).

Microcontrolador Arduino. **Arduino Mega 2560**. Disponível em < <https://www.arduino.cc/en/main/arduinoBoardMega2560> > Acessado em 20 maio de 2017.

PIO, J. L. S.; CASTRO, T. H. C A Robótica Móvel como Instrumento de Apoio à Aprendizagem de Computação. Anais: XVII – Simpósio Brasileiro de Informática na Educação. UNB. Brasília: 2006

ROMERO, Roseli et al. Robótica Móvel. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 302 p, il. SECCHI, Humberto. **Uma Introdução aos Robôs Móveis**. Disponível em: < http://www.obr.org.br/wp-content/uploads/2013/04/Uma_Introducao_aos_Robos_Moveis.pdf > Acessado em 20 maio 2017.

SILVA, Sérgio R. UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA. Departamento de Ciência da Computação e Engenharia Mecânica. Protótipo de um Robô Móvel de Baixo Custo Para Uso Interdisciplinar em Cursos Superiores de Engenharia de Computação, 2011, 220 p il. Dissertação (Mestrado).

Sensor Ultrassônico. Disponível em < <http://www.filipeflop.com/pd-6b8a2-sensor-de-distancia-ultrassonico-hc-sr04.html> > Acessado em 20 maio de 2017.

CONSTRUCTION OF A MOBILE ROBOT FOR TEACHING OF THE DISCIPLINES OF ENGINEERING COURSES

Abstract: *This paper describes the construction of a mobile robot of low cost that will be used as a tool for teaching in engineering courses. Specially, in the courses of Control and automation engineering, Computing engineering and electrical engineering. The mobile robot has Direct current motors, encoders, electrical drivers, a microcontroller (Arduino), ultrasonic sensors and a movement sensor (kinect), a camera and it is based on different material such as MDF, aluminum axis and acrylics that are materials that were recycled from materials that were abandoned from the Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Engenharia Elétrica (NUPEDEE). The*

NUPEDEE was also the place where the robot was fabricated and it allocates also a research group in robotics. The paper describes some initial works developed for students using the mobile robot, also the results of the application of a small questionnaire in the students who used the robot.

Key-words: *Mobile robotics, teaching robotics, Arduino*

CAPÍTULO 07

THE CAUSES OF THE BEHAVIOR AND ORIGIN OF CHARGING CARRIERS CURRENT AND NANO AND MICROSTRUCTURE THROUGH THE LAYERS ON METALLIC BIOMATERIALS WITH OR NOT TITANIUM BASE: AN ESSAY AND A NEW PERSPECTIVE THROUGH A REVIEW

José Félix Estanislau da Silva

PhD Student in Engineering

Institution: Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista

Address: Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Pedregulho, Guaratinguetá/SP, CEP: 12516-410

E-mail: felix.estanislau@unesp.br

ABSTRACT: In this article, starting from a critical review, an original study is made of the causes and nature of the behavior of the current density of charge carriers and of nano and microstructures, respectively, through and on a layer under construction on a metallic surface (for example: titanium), when subjected to anodizing engineering. Here, the causality proposal for the behavior of the current and the nano and microstructures is improved, broader and more accurate in relation to the others already existing in scientific publications. In this sense, the causes show that the presence of nano and microstructures on the layer under construction is not a necessary or sufficient condition to always influence the behavior of the current density through this layer. The presence of such nano and microstructures, which influence the behavior of the current, is a strictly particular case and is achieved by adjusting some anodizing parameters (voltage, time, type of electrolyte, etc.). Thus, the main cause for the current behavior is the lifting of a potential effective barrier resulting from the interactions between charge carriers during the anodizing process and not only the nano and microstructures, as has been stated in recent scientific publications in this area.

KEYWORDS: Current; Nanostructure; Potential Barrier; Nanocapacitor; Symmetry, Biomaterial.

RESUMO: Neste artigo, a partir de uma revisão crítica, é feito um estudo original das causas e natureza do comportamento da densidade de corrente de portadores de carga e de nano e microestruturas, respectivamente, através e sobre uma camada em construção sobre uma superfície metálica (por exemplo: titânio), quando submetido à engenharia de anodização. Aqui, a proposta de causalidade para o comportamento da corrente e das nano e microestruturas é aprimorada, mais ampla e precisa em relação às demais já existentes nas publicações científicas. Nesse sentido, as causas mostram que a presença de nano e microestruturas na camada em construção não é condição necessária ou suficiente para sempre influenciar o comportamento da densidade de corrente através desta camada. A presença de tais nano e microestruturas, que influenciam o comportamento da corrente, é um caso estritamente particular e consegue-se ajustando alguns parâmetros de anodização (tensão, tempo, tipo de eletrólito, etc.). Assim, a principal causa para o comportamento atual é o levantamento de uma potencial barreira efetiva resultante das interações entre portadores de carga durante o processo de anodização e não apenas as nano e microestruturas, como tem sido afirmado em recentes publicações científicas nesta área.

PALAVRAS-CHAVE: Corrente; Nanoestrutura; Barreira De Potencial; Nanocapacitor; Simetria; Biomaterial.

1. INTRODUCTION

Already a few years, many studies have been carried out regarding nano and microstructures and current density of charge carriers on a layer under construction on the surface of titanium (Ti), or other metal, undergoing modification through anodizing engineering or other corresponding engineering. In this direction are the works of: Regonini *et al* [2], 2013, Gulati *et al* [3], 2015, Yang, P. *et al* [4], 2016 and Li *et al* [5], 2018. And, recently more diverse works have been published about this scientific, modern and interesting problematization, as are the cases, for example, of the works by Jeon *et al* [6], 2019, Mohan *et al* [7], 2020, Guo *et al* [1], 2021 and by several other researchers in the actual world.

However, these published studies do not find the complete and closed scientific causes that explain the behaviors observed in the nano and microstructures and current of charge carriers and, yes, only restricted explanations and of particular cases. Therefore, in this article, a more complete and closed analytical study of the causes and nature of the behaviors observed in the nano and microstructures and current of charge carriers is presented through a layer under construction on the titanium metal surface, or other, when subjected to engineering. anodizing or other corresponding. Thus, the design of biomaterials and new materials with properties suitable to be implants in orthopedics, orthodontics, or with other properties of interest (dielectric, for example) becomes much more understandable.

I begin the study of the causes of the current behavior of charge carriers and nano and microstructures from a review of several scientific works published in the area of biomaterials and new materials, where some of them are mentioned in the first paragraph of this Introduction. In this context, in Guo *et al* [1], 2021, a study of the influence on implant bioactivity was carried out through the chemical composition and topography of the modified titanium (Ti) surface. Aligned in this direction, it is known that changes in chemical composition and topographic surface by means of

electrochemical anodizing engineering, currently in use, often occur simultaneously. But, the bioactivity of the implant becomes understandable, part by part, if the simultaneity of these two modifications is broken. Therefore, a study of the implant surface with similar topography and different chemical composition and, conversely, with similar chemical composition and different topography can be carried out. That way, using electrochemical anodization and its variable parameters: electrolyte, voltage, time, etc., Guo *et al* [1], 2021, controllably grew of the surface layer on the Ti topography, which resulted in nano and microstructures of Ti/TiO₂ in the form of pores, on this layer, with acceptable good similar topography or chemical composition and, simultaneously, with different chemical composition or topographic, respectively. After that, they analyzed the topographic and chemical characteristics of these implant surfaces by means of measurements obtained from the application of standard instruments of microscopy, spectroscopy and goniometry. As for the property of adhesion to human cells, it was measured by applying the cultivation of hGFs (human gingival fibroblasts) and fluorescence examinations on these surfaces. Thus, experimentally, they found that the metabolism, proliferation and adhesion of cells are influenced by the topography and chemical composition of these nano and microstructures, where the ordering of these significantly dictates the alignment of cells on these layers.

Not far, using chemical dissolution engineering in a few different steps, alternated by heat treatment of different temperature, but not consecutively, Jeon *et al* [6], 2019, developed dendritic-like nanostructures on the surface of the TiO₂ layer grown on the titanium (Ti) substrate. In synthesis, first, they sprouted nanovolumetric structures, which they called nanoneedles, which can also be seen as nanospines, serving as main trunks on the Ti substrate. Effect achieved by immersing previously prepared samples of Ti in a solution of H₂SO₄ at 80 °C for 1 h. Subsequently, cleaning was carried out by rinsing in deionized water. This complete process was repeated three times or more. Then, the resulting samples were subjected to heat treatment at 600 °C for 2 h. To obtain nanovolumetric structures, which they called nanotubes, on the surface of the nanoneedles stems, consecutively, these samples were immersed in a solution of NaOH 3 mol/L at 60 °C for 12 h. Again, subjected to a heat treatment, but at 400 °C for 2 h and afterward immersed in an aqueous HCl solution at room temperature for 30 min. Then, they were rinsed in deionized water and again subjected to heat

treatment, but at 600 °C for 2 h. Thus, the entire procedure was completed and, as a result, dendritic structures were built with their full ramifications on their surfaces, which took the geometric shape of nanotubes. Posteriorly, through measurements obtained from the use of microscopy, spectroscopy and goniometry instruments on these layers, they found that these dendritic structures contained a high density of specific surface area and had anticorrosive and hydrophilic properties, relatively much superior to the original surface of the titanium material. Therefore, presenting favorable biomaterial characteristics to be used in several areas, as well as medical body implant.

In these two works, highlighted here, Guo *et al* [1], 2021 and Jeon *et al* [6], 2019, there are no graphs showing the current behavior of charge carriers through the layer under construction on the Ti surface, but they reaffirm the current behavior through citations from the laboratory studies of Li *et al* [5], 2018 and Gulati *et al* [3], 2015, which are extensions of the works by Regonini *et al* [2], 2013 among others. In Regonini *et al* [2] a review of the growth mechanism, structure and crystallinity of TiO₂ nanotubes developed using anodizing engineering was presented. Where, graphs were constructed of the current density in flux through the layer under construction on the surface of Ti, when submerged as an anode in an electrolyte composed of Na₂SO₄ + NaF or Glycerol + NaF during this engineering. These graphs of current density as a function of time were divided into stages I, II and III of distinct behaviors and a proposal was made to relate each stage of current flow with the origin and development of nanopores (NP) and nanotubes (NT). In this relationship, stage II was associated with the origin and, mainly, the maximum limit of NP and NT formation, when an electrochemical equilibrium state is reached, which corresponds to the beginning of stage III. However, in the work I present here, I review this relationship as a particular case. In general, the current flow behavior through the layer under construction on a metallic surface does not present these three distinct stages and, even so, nano and microstructures are formed under other current flow behaviors. These are the cases of the experimental results of current density and nano and microstructures published by Gulati *et al* [3], 2015 and Li *et al* [5], 2018, among others more recent.

Nowadays, new materials can be obtained through ingenious procedures not only on metals, but on polymers, ceramics or composites of these. And, there is a vast technological application to develop and improve all practical areas of modern civilization, from aeronaval materials, biomaterials and nanotechnologies among others. For example, there is a study carried out by Jodati *et al* [8], 2020, where a study

is carried out in an attempt to obtain a new ceramic biomaterial (Bioceramics).

2. MATERIAL, EXPERIMENT AND CHARACTERIZATION: ANODIZING GUO ET AL

To obtain nano and microstructures of two different types, pores and roughness, the procedure used by Guo *et al* [1], 2021, is not summarized in the introduction of this article, it is only mentioned and given the importance of its use. As it is relevant for the present article, it is convenient to recall some details of this electrochemical anodization engineering, in order to better understand the fundamental causes of the current behavior of charge carriers and nano and microstructures. Additionally, it is a revision aimed at those who are starting to learn in this area.

2.1 One-step anodizing engineering

In this subsection, we describe the anodizing engineering used in a single step to anodize the surface of titanium metal (Ti) and build a layer containing nanopores of similar chemical composition (TiO_2), but of different topography.

In this procedure, a metallic sheet of Ti was used as an anode with a thickness of 0.25 mm and a surface area of 1 cm^2 , but not previously polished, which they called Rough-Ti surface. However, after one-dimensional mechanical polishing on this surface, volumetric structures in the form of lines and symmetrically distributed or aligned on a micro scale were observed. Therefore, this resulting surface was called Micro-Ti and was also used as an anode in other anodizing assays with the same anodizing variables (voltage, time, etc.).

The Rough-Ti or the Micro-Ti was immersed in the anode function in an electrochemical cell, where the electrolyte was composed of ethyleneglycol + water (1% v/v) + NH_4F (0.3% w/v). The cathode used in the arrangement was a titanium sheet with the same dimensions as the anode and previously cleaned. The complete system was formed by coupling a DC voltage source to the upper extremities of the two titanium electrodes, closing the circuit. And, different voltage value was assumed in each anodizing test. But, prior to the assays, the electrolyte was aged by anodizing process as described in Li *et al* [5], 2018.

In this system, three anodizing assays, respectively, were conducted under DC

voltages of 40 V, 60 V and 80 V for 10 min each. Thus, they were able to develop nanopores on the surface of the Ti-Matrix originated from the Micro-Ti, which they named A40, A60 and A80, because they showed alignment in their positions on the surface when subjected to these voltages. Already in Rough-Ti, the three anodizing assays revealed that this behavior is random, therefore, they were named R40, R60 and R80. In each of these and those, essentially, a layer was developed containing nanopores of similar chemical composition, but of different topography.

2.2 Two-step anodizing engineering

However, in order to build a layer containing nanostructures on the Ti surface, which presented characteristics of similar topography, but of different chemical composition, two successive anodization assays were carried out, which is briefly described in this subsection.

In the 1st step, they kept the same electrolytic composition, the Micro-Ti was immersed with anode function, where the electrolytic cycle was closed under a DC voltage of 80 V and anodizing proceeded for 120 min. Subsequently, the layer of TiO₂ grown on the surface of this Micro-Ti was removed by means of a sonication bath in methanol. This resulting Ti-Matrix was called Nanotemplate, because engravings or soft footprints similar to the bottom of a tube or pore type nanostructure remained on its surface, which were not characterized as a very thin layer or covering.

The 2nd step was carried out sequentially to the first, in which the same electrolytic composition was maintained, where the Nanotemplate was immersed with the anode function. And, the electrochemical circuit was completed under DC voltages of 20 V, 40 V and 60 V, respectively, for three assays carried out in a time of 10 sec each. Afterwards, they were cleaned in deionized water, rinsed and dried in air and, finally, they were named NT20, NT40 and NT60. Thus, they managed to produce nanopores or nanotubes on the surface of the Ti-Matrix obtained from the Nanotemplate under anodization and, which, approximately, maintained similar topography, but different chemical composition (Ti and TiO₂).

In this way, as a general result, they were able to build a layer on the Ti surface, which contained pore and tube-type nanostructures with acceptable similar topography, but of different chemical composition. Additionally, they were also able to build a layer containing nano and microstructures of the roughness or pore types of

similar chemical composition, but of different topography.

2.3 Characterization procedures of anodized layers

To reveal the nano and microstructures of the roughness, pores and tubes types, they used standard biomaterial manufacturing characterization equipment. Thus, in this subsection, the methods for characterizing the layers built on the Ti surface (resulting in a Ti-Matrix) are presented and described.

2.2.a) Then, they used the Scattering and Field Emission Electron Microscope (FESEM) and the Atomic Force Microscope (AFM) to observe, reveal and also measure the dimensions (diameters, etc.) of the roughness, pores and tubes in nano and micro scale. The type of chemical composition was detected and measured using X-Ray Photoelectron Spectroscopy (XPS) on the locations of these various nano and microstructures on the Ti-Matrix surfaces. Already, measurements of Water Contact Angle (WCA) with the surface were obtained using a Goniometer. Thus, they were able to show the degree of hydrophilicity of each Ti-Matrix.

2.2.b) But, to measure the ability of these Ti-Matrix to allow the adhesion of living body cells, the surfaces were immersed in a solution composed of concentrated bovine serum albumin (BSA, 1.0 mg/mL) in addition to phosphate saline solution (PBS). And, thus, they were submitted to an incubation at 37°C for 4h. Soon after, they were rinsed in phosphate saline solution three times in order to remove proteins not adhered to the surfaces. Subsequently, 250 µL of 2% (w/v) sodium dodecyl sulfate (SDS) solution was applied twice to each surface to drag out the adhered proteins. Then, on this dragged-out compound, they applied the Biuret calorimeter (BCA) examination method to count the amount of proteins and the adhesion capacity of the surfaces. In other words, 50 µL of the entrained compound was combined with 150 µL of the BCA mixture and transferred to 96 appropriate dishes, where they were incubated at 37°C for 2 h. Finally, the optical density of the incubated solution was measured at 562 nm using a spectrophotometer, that is, it was measured by means of fluorescence examination, and they were able to calculate the amount of proteins or cells adhered per surface area.

2.2.c) In a similar manner, to measure the ability to develop and proliferate

bodycells, human gingival fibroblasts (hGFs) were isolated and cultured at 37 °C and 5% CO₂ in 1.0 mL of Dulbecco's Modified Medium (DMEM), where 10% (v/v) fetal bovine serum (FBS) and a mixture consisting of 50 U/mL of penicillin with 50 mg/mL of streptomycin were inserted. Thus, cells were grown in a 75 cm² container for 2 days of culture. Then, 3,10³ of the hGFs, previously grown, were seeded on the surface of each Ti-Matrix at the bottom of dishes, after being subjected to sterilization with ultraviolet radiation (UV) for 30 min.

They cultivated this seeding for 1 day, 3 and 7 days, then the hGFs culture was removed from each Ti-Matrix at the bottom of each dish. Afterwards, they were rinsed with phosphate saline solution (PBS) and incubated in an Alamar Blue fluorescent solution for 4 h. Finally, using a spectrophotometer, they measured the fluorescence of the incubated solution for excitation and emission wavelengths of 560 nm and 590 nm, respectively. With this procedure, they were able to know the level of metabolism of hGFs and, consequently, the ability of the surface of each Ti-Matrix to develop a living body cell.

Additionally, another fluorescence exam similar to this one was performed with the Ti-Matrix after culturing the hGFs sown for 1 day, 3 and 7 days. And, thus, they were able to know the surface capacity of each Ti-Matrix to allow proliferation of body cells or amount of DNA, (details are in section 2.7 of ref. [1]).

Then, with these two methods summarized in 2.3b and 2.3c and the three fluorescent exams, they characterized and assessed the abilities of the Ti-Matrix to develop, proliferate and adhere to living body cells in its newly constructed layer.

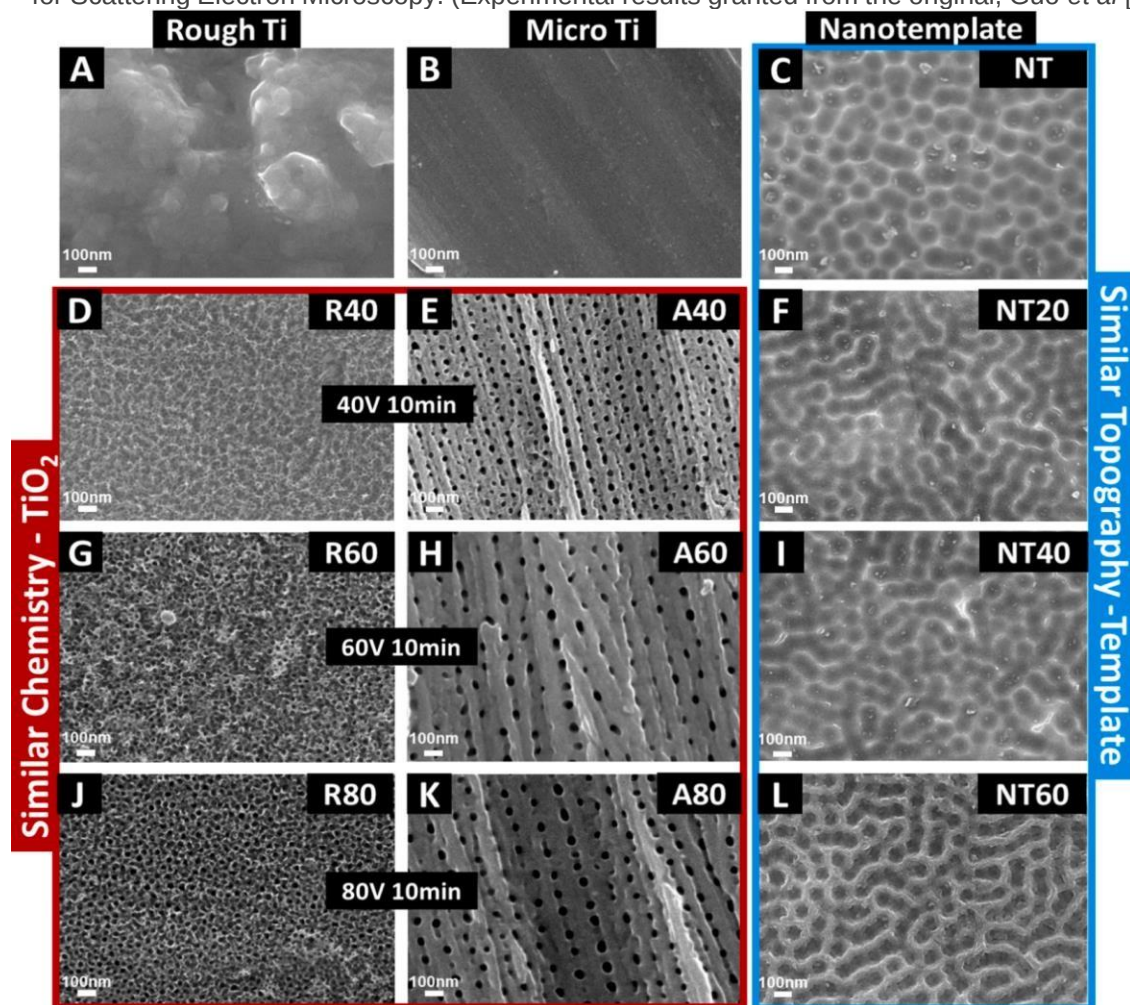
3. RESULTS, ANALYSIS, DISCUSSIONS AND NEW ARGUMENTS

In this section, the geometric shape and behavior of the nano and microstructures of the roughness, pores and tubes types on the surface of the Ti-Matrix originated from the Rough-Ti, Micro-Ti and Nanotemplate, are shown, analyzed, discussed and argued when obtained in a single and two-step anodizing engineering consisting of previously aged electrolyte and under DC voltage, which were briefly described in the previous section. In this study, remember that the Nanotemplate is the surface that undergoes the second stage of anodizing engineering. Here, for the causes of the behavior of these nano and microstructures and the origin of their symmetrical geometric shape, an improved proposal by this author is given.

3.1 Results: surface of similar chemical composition, but of different topography

Here, the Ti-Matrix surface of similar chemical composition but of different topography is shown. Again, remember that these Matrix are obtained from Rough-Ti or Micro-Ti, when subjected to anodizing engineering in a single step. There is a total of these two plus six anodized surfaces, where three are obtained from Rough-Ti and the other three obtained from Micro-Ti. Together, the behavioral characteristics of nano and microstructures on these surfaces are identified and described.

Fig. 01 - Various SEM images of the **Ti-Matrix** surface obtained by anodizing on titanium (Ti). Part **A** is the surface of Ti Grade 4 (**Rough-Ti**). Part **B** is the surface of Ti after mechanical polishing (**Micro-Ti**). Parts **R40**, **R60** and **R80** are the surfaces of Rough-Ti after anodizing, in a single step, under 40 V, 60 V and 80 V for 10 min each. Parts **A40**, **A60** and **A80** are the surfaces of the Micro-Ti after these same anodizing. In both cases, each surface contains different topography, but similar chemical composition for its nanostructures. Part **NT** is the surface of the Micro-Ti after anodizing, in a single step, under 80 V for 10 min and layer removal: **Nanotemplate**. Parts **NT20**, **NT40** and **NT60** are the surfaces of the Micro-Ti after a second anodizing step under 20 V, 40 V and 60 V for 10 sec each, nanopores and nanotubes of “similar topography”, but of different chemical composition. The word SEM is the acronym for Scattering Electron Microscopy. (Experimental results granted from the original, Guo *et al* [1])



In Fig. 01, the SEM image, in part **A**, reveals the presence of rough microstructures randomly distributed on the surface of grade 4 titanium, which was named Rough-Ti, in subsection 2.1. In the same figure, the image in part **B**, shows the surface called Micro-Ti, where structures in the form of lines and symmetrically distributed on this surface are observed. This manifestation of symmetry is a consequence of the external action of unidirectional mechanical polishing performed on the surface (external contact action, internal reaction to maintain the equilibrium between the particles on the surface).

At Rough-Ti, the one-step anodizing engineering, described in subsection 2.1, resulted in the Ti-Matrix identified in the SEM images by R40, R60 and R80, in Fig. 01. Where, in each image, the observer perceives that pore-like nanostructures and some sparse roughness were produced randomly distributed and showing a significant difference in their topographies on each surface. Already, the SEM images identified in the group consisting of A40, A60 and A80, in the same figure, reveal the results of anodizing on Micro-Ti, in a single step. Now, the observer realizes that pore-like nanostructures were produced with symmetrical distribution over the surface and there is still a significant difference in surface topography. In other words, the nanopores are aligned, however each surface has a difference in its topography.

As for the chemical composition, the characterization exams¹ showed that the chemical composition of the nanostructures of the pore or roughness types are the same (TiO₂) in both groups of the Ti-Matrix originated from the Micro-Ti and Rough-Ti under anodizing in a single step.

Another characteristic observed is that the quantity of pore-like nanostructures randomly distributed on the surface of the Ti-Matrix, produced from Rough-Ti, is denser compared to the quantity of pore-like nanostructures distributed in symmetry (aligned) on the surface of the Ti-Matrix produced from Micro-Ti. To visualize this effect, see the pairs of images given at (R40, A40), (R60, A60) and (R80, A80) in Fig. 01. And also, it is perceived that the diameter of the nanopore increases as the DC voltage is higher for each anodizing engineering. Effect that occurs in both cases, being significantly greater in the case of anodizing on the Micro-Ti. But on each surface of the Ti-Matrix, the diameter, approximately, remains the same length for all nanostructures (nanopores).

¹ Conducted by Guo et al [1], 2021, where they are shown in the section 3.

3.2 The causes for the behaviors and geometric shapes of nanostructures

Here, the behavioral characteristics of nano and microstructures of similar chemical composition, but of different topography, contained on each surface of the Ti- Matrix, which was obtained through anodization engineering, in a single step, under the Rough-Ti or Micro-Ti and which were described in the previous subsection (3.1). In this direction, a broader, non-particular and more exact proposal is given for the fundamental causes of such behaviors and their natural physic-chemical origins.

Therefore, assuming that the effects described in the previous subsection can be explained in terms of the action carried by the Electric Field², is in the coherent direction of electromagnetic science compiled by Maxwell. However, there is an established relationship between actions in the macroscopic world and actions in the microscopic world. In this relationship, the Fields internal to the environment under study arise in response to the macroscopic actions and, also, the actions of the microscopic environment itself. These interactions under special boundary conditions³ can be assumed only in the neighborhood of Rough-Ti or Micro-Ti surfaces, when under 'electrodynamics' anodizing.

In this process, interactions within the centers of mass in the form of lines⁴ between grooves produced by external action, mechanical polishing, for example, become weaker in relation to the other regions of the surface. In other words, interactions between charge-bearing particles in these regions of the surface are weakened. Therefore, it is along these centers of mass in the form of lines that the interactions between the actions of particles (or Fields) of the electrolyte medium and the surface medium, under the action of an external DC voltage, are more drastic. Then, on the surface of the Micro-Ti, under anodizing 'electrodynamics', the charge-bearing particles bind to these unidirectional and point-to-point regions preferentially. Thus, these preferential interactions over the centers of mass in the form of lines lead

² In ref. [1] and their citations, the attributed cause for the observed effects in the nanostructures is in a correct scientific direction. However, it is not sufficient, broad and exact to solve and explain all the effects manifested and observed experimentally with the use of anodizing engineering on metals and other means.

³ In the neighborhood of the metal surface with the electrolyte, in this medium, under moderate external fields, distant points effectively do not contribute to the local interactions between particles. Also, surface edge effects are drastically smoothed compared to effects given by surface dimensions or surface symmetry.

⁴ The centers of mass in the form of a line between grooves are similar to straight and parallel fillets, ridges or rods, on a micro scale, on the surface of the metal (Micro-Ti).

the nanostructures, in this case, TiO₂ nanopores, to be born distributed in alignment symmetry on the surface of the Ti-Matrix originated from the Micro-Ti, under those specific values. anodizing variables (voltage, time, etc.). The reader can again witness this consequence in the images given at A40, A60 and A80 in Fig. 01.

But in Rough-Ti, the surface is heterogeneous in its mass distribution. There are reliefs of different shapes and sizes. Therefore, preferably, the mutual actions between the charged particles of the electrolyte medium and the metallic surface, in the presence of an external field (DC voltage), are on these randomly distributed centers of mass. Then, on the surface of Rough-Ti, under 'electrodynamics' of anodizing, the charge-bearing particles bind to these centers of mass and point to point, preferentially. Thus, these interactions, under a voltage of 40 V, lead to the formation of several randomly distributed nano and micro roughness of TiO₂, which are confused with deformed or open nano and micropores of TiO₂, as shown in the image given in R40 in Fig. 01. But as the DC voltage is more intense for another anodization, these interactions become more intense over these centers of mass and, as a consequence, particularly at 80 V, a much more defined (symmetric) TiO₂ nanopore is formed than the 40 V and in greater quantity on anodizing surface. The reader can see this consequence in the images identified by R60 and R80, in the same figure.

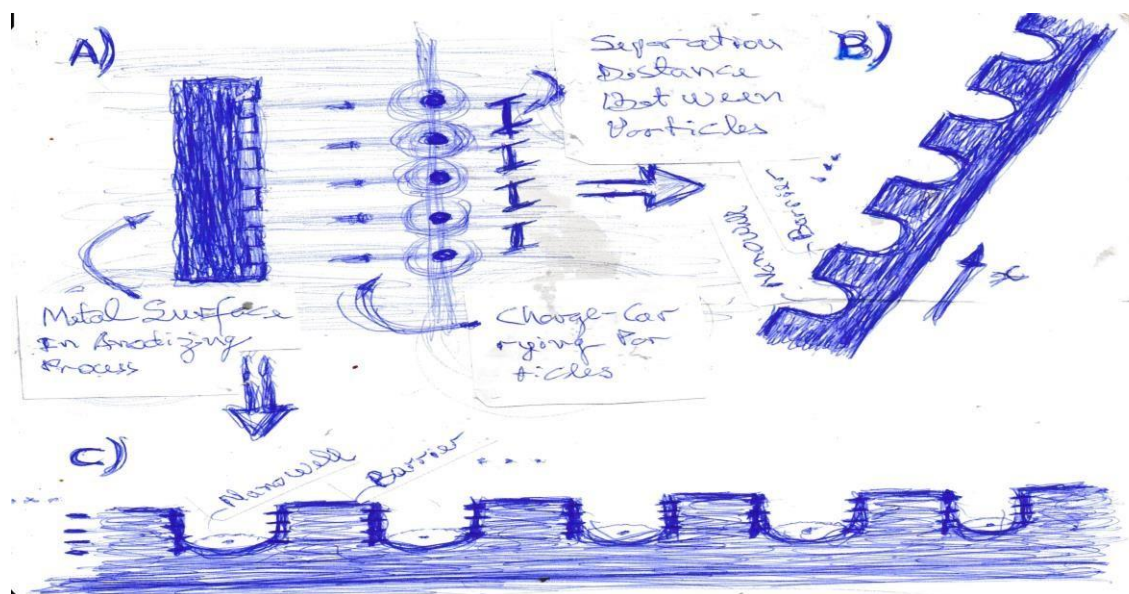
These centers of mass in Rough-Ti are more robust and in greater quantity than in Micro-Ti. Therefore, the interactions between charge-carrying particles are also more intense, they are more strongly bonded than the interactions within the centers of mass of the Micro-Ti, which suffered an external action (mechanical polishing) weakening its internal interactions. Then, as a consequence, when Rough-Ti and Micro-Ti are subjected to the same 'electrodynamics' of anodizing separately, it results in a higher density of nanopores on the surface of the Ti-Matrix produced from Rough-Ti than of the Ti-Matrix produced from Micro-Ti. Another consequence of this same cause is that the diameter of the nanopore must be larger on the surface of the Ti-Matrix originated from Micro-Ti than on the surface of the Ti-Matrix originated from Rough-Ti. Such behaviors: greater density and greater diameter, are observed in the images in pairs identified by R40 and A40, R60 and A60, R80 and A80, in Fig. 01.

Still in this direction, these interactions within the centers of mass remain the same for a Rough-Ti or a Micro-Ti surface. Then, the higher the external DC voltage on the surface of Rough-Ti or Micro-Ti, the larger is the diameter of the nanopore, which

reaches a maximum size when the 'electrodynamics' of anodizing achieves equilibrium between forces. And, as the nanopores are of the same chemical composition (TiO_2), it follows that the same interactions occurred in the formation of all nanopores during anodization. Thus, as a consequence, the diameter, on average, should be the same size for all nanopores on the same anodized surface, whether produced from Micro-Ti or Rough-Ti. For example, note that, on average, the diameters of the nanopores are the same size over the surface revealed in the image given at A60 or A40 in the same figure and is larger at the surface revealed at A60 than at A40 ($60 \text{ V} > 40 \text{ V}$).

About symmetrical geometric shape of the nanostructure (nanopore, etc.) it must originate from some specific interaction between charge-bearing particles under the action of the external (DC voltage) and internal fields of the 'electrodynamic' anodizing medium. These specific interactions can be imagined like those that occur in the geometric formation of a capacitor, but with nanometric dimensions. In this model, the symmetrical shape of the nanocapacitor geometry (nanopore, nanowell and others) definitely manifests itself when the electrodynamic equilibrium in action-reaction between the forces is reached, which corresponds to the electrochemical equilibrium. This mechanism occurs locally and point to point separated by regular distances, i.e. separated by distances that tend to be the same length, if interactions within the center of mass are 'weak' compared to electrolyte and external voltage interactions in actions, if the mass distribution is homogeneous and if its chemical composition is the same.

Fig. 02 - Simplified model of the interaction between the particles of the electrolyte and the metallic surface in 'electrodynamics' of anodization for formation of the nanopore (capacitor nanowell). In part **A** there is a lateral view of the metallic surface under the action, in frontal line, of the carriers of the same charge, in the electrolyte, during the anodizing. In part **B** a one-sided view of a nanowell successively interpolated by a barrier layer is shown after an 'electrodynamics' anodizing. Part **C** is another imagination of the possible one-sided images of the capacitor nanowell followed by a barrier and the barrier followed by the capacitor nanowell, successively, up to the surface edge.



Thus, the particles carrying the same charge, in the electrolyte, which participate in the formation of the nanowell, become locally distributed point to point and separated by these distances of the same length, on the front of the metallic surface, and initiate interactions forming the nanocapacitor. But, at the same time, they prohibit the formation of nanowells in the regions of separation between these identical particles, where barriers are formed, which are associated with the potential of this type. These behaviors are represented in part A of Fig. 02 and, where, in part C, there is a possible imagination of the capacitor nanowell followed by a barrier and the barrier followed by the capacitor nanowell, successively, but in a straight line (a lateral view, too, is in part B, but without representation of the charges of the particles opposite one to the other).

3.3 Results, Discussions And Causes: Surface Of Similar Topography, But Of Different Chemical Composition

In this subsection, the Ti-Matrix surface of similar topography, but of different chemical composition, produced by using two-step anodizing engineering under the Micro-Ti surface, is shown. There is a total of four Ti-Matrix, one of which is the Nanotemplate. For these surfaces, the behavioral characteristics of nanotubes and

nanopores are described and analyzed. Also, the causes for such behaviors and their natural origins are elaborated grounded on electrodynamic interactions as proceeded in the previous subsection.

In doing so, the SEM image, in the part NT, given in Fig. 01, shows the surface of the Ti-Matrix, called Nanotemplate, where you can see that on the surface there are smooth impressions similar to the bottom of cylindrical nanotubes or nanopores, in general, but which were not characterized as a thin layer on the surface. Also, note that there is no more alignment tendency in the distribution of these impressions over the surface, as there is in the distribution of the nanopores over the surface of the Ti-Matrix produced from the Micro-Ti after a single anodizing step (images given in A80, A60 or A40 of the same figure). But, realize that each nanotube or nanopore print in the Nanotemplate tends to present symmetry in its geometric shape (topography), in general. Such effects arise because single-step anodization, under a DC voltage of 80 V, for 120 min, on the surface of the Micro-Ti, causes an intense interaction between the charge-carrying particles of the electrolyte and the surface, which produces many holes in the titanium (Ti) metal initially. These holes arise because many Ti particles from the surface are pulled into the layer under construction. But, during the rest of the 120 min, these holes are plugged with the growth of the anodized layer, on which the nanostructures appear (for example: nanopores). However, these interactions are weakened and broken with the action of sonication on the anodized layer, that is, the anodized layer is removed. However, these interactions are weakened and broken with the action of sonication on the anodized layer, that is, the anodized layer is removed. And, in this action, the holes are uncovered because they are regions that are much weakly bonded, in the metal, in relation to other parts of the surface and they start to manifest themselves as impressions in the form of the bottom of a nanotube or nanopore. Also, as an additional consequence, the alignment in the distribution of these impressions on the surface of the Nanotemplate matrix is uncharacterized. But, in general, the geometric shape of each engraved print carries symmetry as a consequence of electrodynamic interactions during anodizing to maintain equilibrium between forces.

Yet, in Fig. 01, in the parts identified by NT20, NT40 and NT60 are the images of the Ti-Matrix surfaces produced from the Nanotemplate (Micro-Ti) in the second stage of the anodizing 'electrodynamics', respectively, under DC voltage of 20 V, 40 V and 60V, for 10 sec each. Here, takes care of the reader to realize that 10 sec is much

shorter than the time duration used in the first anodizing step (120 min >> 10 sec), therefore it can be considered a short anodizing time. Thus, they intended to obtain surface or nanostructures of similar topography, but of variation of the Ti particle to TiO_2 in the chemical composition (different chemical composition).

However, realize that the similarity in the topography gradually becomes uncharacterized as long as, in others second-stage anodization, the DC voltage is higher, as shown in the images given in NT20, NT40 and NT60. Thus, when a voltage of 60 V was maintained during the anodization, the topographical similarity of the nanotubes was evidently uncharacterized (image given in NT60). In this case, too, the chemical composition of the nanostructure may lose its variation (become similar), because the surface impressions may become covered by electrolyte particles. But for DC voltages of 40 V and, mainly, lower, 20 V, the topography of the nanotubes tends to present a little more similar geometric shape, topography (images given in NT40 and NT20, in Fig. 01). The fundamental cause of the loss of topographical similarity between these nanostructures (nanotubes, etc.), maintaining the same parameters of the electrolyte medium in each second anodizing step, is due to the intensity of the external DC voltage, mainly, or the amount of time, under this 'electrodynamics' of anodizing. Thus, if the intensity of the action of the DC voltage, comparatively, is much greater than that of the reaction of the charge-bearing particles of the metallic surface and the electrolyte medium, then the interactions between these particles, in the formation of the growing layer, become too much disproportionate. And, as one of the consequences, a breakout runs in the symmetry of the geometric shape of these nanostructures under construction (nanopore, nanotube, etc.), which open up and join each other, taking a more asymmetrical geometric shape. As an example, see the images of the nanostructures displayed in part NT60 of the same figure. Another consequence is to result in an induction of nanostructures of similar chemical composition on the layer built in the second anodization stage, in this case, because the impressions on the Ti metal surface can become covered by electrolyte particles.

But if the surface or electrolyte or both comparatively withstand intense external DC voltage action, a standard topography may emerge for all nanostructures at a specific voltage threshold. Effect that, in the case under study, can also be attempted by decreasing the total anodizing 'electrodynamics' time (for example, to 6 or 8 sec).

Finally, comparing the results obtained in a single anodizing step with those

obtained in two anodizing steps, it is evident that the symmetry in the shape and distribution of the nanostructures on the anodized layer manifests itself much better in the case of single-step anodization, mainly, on the Micro-Ti. For example, compare the nanostructures in the image given in A40 with those given in the image in NT40 or NT20, in Fig. 01, and visualize this effect. However, as already analyzed and discussed, it may be possible to produce nanostructures with a well-defined symmetrical geometric shape and distribution by means of two-step anodizing engineering on a metallic surface.

Then, as proposed in the previous sections, in preliminary, here are the fundamental causes of the behavior of nanostructures and their geometric shapes on a layer built on the surface of a metal under an anodizing engineering system.

4. RESULTS, ANALYSIS, DISCUSSIONS AND NEW ARGUMENTS

Here, the behavior and the nature of the current density of charge carriers through the layer with its nanostructures, under construction on a metallic surface immersed in an anodizing system, are shown, analyzed, discussed and argued. In special, results produced using this ingenious system on the surface of titanium (Ti) metal and obtained by Regonini *et al* [2], 2013, Gulati *et al* [3], 2015, Yang, P. *et al* [4], 2016, Li *et al* [5], 2018 and Mohan *et al* [7], 2020, and others, here they are displayed, described, discussed and argued. In this study, among others, two questions that arise are: is there a relationship between current of charge carriers and density of formation of micro and nanostructures during the anodizing procedure? If yes; then, how to explain this relationship in an analytical and also exact causal way? For the first question, the answer is simple and exact: yes. As for the second question, there are some proposals by some authors to establish this causality between both, but they are not an exact solution to the question, that is, the problem is still open. Then, too, in this section, by this author a broader and improved proposal is given for the causes of the behaviors and nature of the current density through these layers.

4.1 Generalized causes of current behavior through a layer under construction

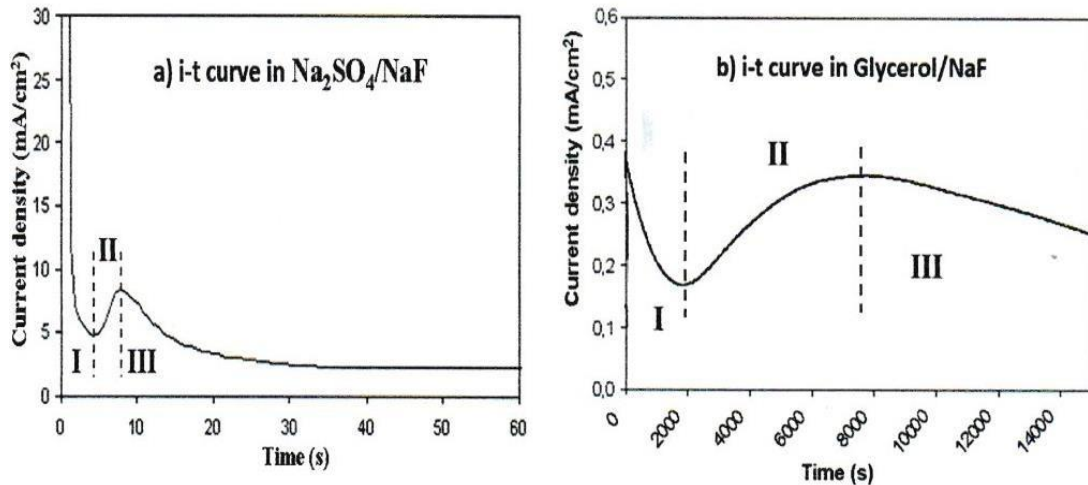
In this subsection, through a review, a proposal of the causes of the behavior and nature of the current density is given, but without considering the presence of

nanostructures on the layer, where the current crosses (it is not a necessary condition to include them in a generalized treatment for all cases).

In this direction, the two graphs in Fig. 03 reveal that, in phase I, the action-reactions, by anodization, between charge-bearing particles of the electrolyte and the metallic surface, or between those of one of these media, start under an applied and constant external potential in volts (in this experiment, 20 V). However, realize that the current intensity decays exponentially as long as the anodizing time increases, and reaches a well-defined minimum at the end of this phase.

According to the modern electrodynamics of the theory of Quantum Mechanics, the cause of this behavior is that the layer consisting of particles (from electrolyte and surface) is associated with a barrier potential, which resists the passage of moving charge carriers (current).

Fig. 03 - Current density through the layer with its nanostructures growing on the titanium metal surface, when subjected to anodizing engineering. In **a)**, anodizing took place in $\text{NaF}/\text{H}_2\text{O}$ under 20 V. In **b)**, anodizing took place in Glycerol/ NaF and under the same voltage. (experimental source of data obtained by Regonini *et al* [2] and granted use)



Thus, during anodization, as long as the layer grows depending on the time, it takes on a massive, progressively larger, more defined, robust and compact shape. These layer characteristics are carried over to their associated barrier potential, that makes the current intensity to be exponentially braked and as much as possible that the current particles do not reject compression or action (first minimum current intensity, see the graphs in Fig. 03). At this moment, the current charge carriers are at their maximum compression limit allowed, so, by action-reaction, they tend to establish an equilibrium between forces with the constituent particles of the barrier

(layer). But that does not occur in this moment of transition of the behavior of the current. Here, it is the end of phase I and the first attempt to seek an equilibrium between the forces of the barrier particles and the current, but that does not occur at this moment, because the layer is in initial growth.

In this attempt to establish an equilibrium between forces, phase II begins, where the charge carrier current, at its maximum compression by the increasing barrier potential, reacts strongly and progressively until the maximum of the interaction it has against this potential. Then, at that point, the current stops being retarded and starts increasing progressively or almost abruptly through the barrier (spring or wave effect).

But the surface layer is growing through anodizing and therefore there is an increase in the density of charge carriers at its base, which makes the barrier potential brakes the increase of the current progressively or, even, abruptly. And, under voltage, as long as the equilibrium of forces between the particles of the current and the particles of the layer (barrier) is not reached, the current intensity continues to be delayed, but advancing or increasing. Then, when it is close to this equilibrium or initiating this equilibrium, the current intensity reaches a local maximum, which characterizes the end of phase II for the current behavior. This maximum local intensity can be seen in the graphs in a) and b) of the same figure.

In the proximities of this equilibrium, the particles constituting the current density are exhausted in their maximum possible action against and on this layer (potential barrier). Then, phase III begins, where the layer becomes robust and resistant in its internal interactions. Thus, consequently, its associated barrier potential prevents the increase in the current flow of charge carriers, which tends to decrease to a constant flux value, when this equilibrium is reached. In other words, the constant flow of current indicates that an equilibrium has occurred between formation and dissociation of charge-bearing particles in the 'electrodynamics' of anodizing.

But, if during anodizing the internal interactions of the electrolyte are strong, comparatively to the action of the DC voltage, i.e. if the resistance of the electrolyte is strong, then it results that the internal interactions of the layer and its associated barrier potential become more intense. And, they reach their maximum potential reaction against the passage of moving charge carriers (current), when equilibrium is stabilized. Consequently, therefore, the current flow is small at the beginning of phase III and it smoothly decreases until it becomes constant at the end of that phase, but over a long time, as it is shown in the graph in b) of Fig. 03, for example.

However, maintaining the same DC voltage, if it's the opposite, i.e., if the internal interactions of the electrolyte are weak compared to the action of the DC voltage, then it results that the internal interactions of the layer and its associated barrier potential become less intense than in the previous case. And, they reach their maximum potential reaction against the passage of moving charge carriers (current), when equilibrium is reached. Consequently, in this case, there is more current flow at the beginning of phase III and, in an abrupt trend, it starts to decrease until it becomes constant at the end of this phase, but all in a short time, as it is displayed in the graphs in a) of the same figure, for example.

Then, in a generalized vision, these are the causes of the behavior of charge carrier current through a layer (potential barrier) under construction over time and under external voltage (in this study, built by means of the anodizing engineering).

4.2 Causes for the relationship between current behavior and nanostructures

In this subsection, continuing the review started in the previous subsection, the causes of current behaviors related not only to the layer, but also to its growing nanostructures, are given. In this study, the layer and its nanostructures were built on the surface of a metal by means of the 'electrodynamics' of anodizing.

In this direction, the reader realizes that in the causes of current flow behaviors given in the previous subsection, it was not necessary, initially, to include effects given by nano and microstructures. Possible and correct treatment, because the causes have their fundamentals on the electrodynamics of moving particles, in their total form, where there is a potential barrier to be crossed. Electrodynamics, where it is known that the density of particles and their transmission coefficient, through a barrier potential, show oscillations in their shape as a function of the incident energy of the particles. And, these oscillations are dampened and undone as the energy of the barrier becomes robust compared to the energy of the particles, which do the crossing action. As an example, such causes and explanations are reflected, again, in the current density behaviors of charge carriers, progressively, displayed in phases I, II and III, of each graph, given in a) and b) in Fig. 03 and also in the graphs of $(\text{mA}/\text{cm}^2) \times \text{time}$ given by Mohan *et al* [7], 2020 and by Mor *et al* [9], 2005, among others.

Then, the relationship between current intensity and nanostructures on a layer under construction, on the surface of a metal, depends on the comparison between

the energies of both: the constituent particles of the current and the layer (potential barrier). Therefore, in the first case, if the interaction between the inner particles of the layer is intense, comparatively, the interaction or energy of the constituent particles of the current, then the presence of nanostructures, for example: pores, on the layer under construction, is not seen (felt) by the particles of the current. In another way, it can be said that, sensibly, the moving particles, which constitute the current, are not affected by the nanostructures being formed on the surface of this layer.

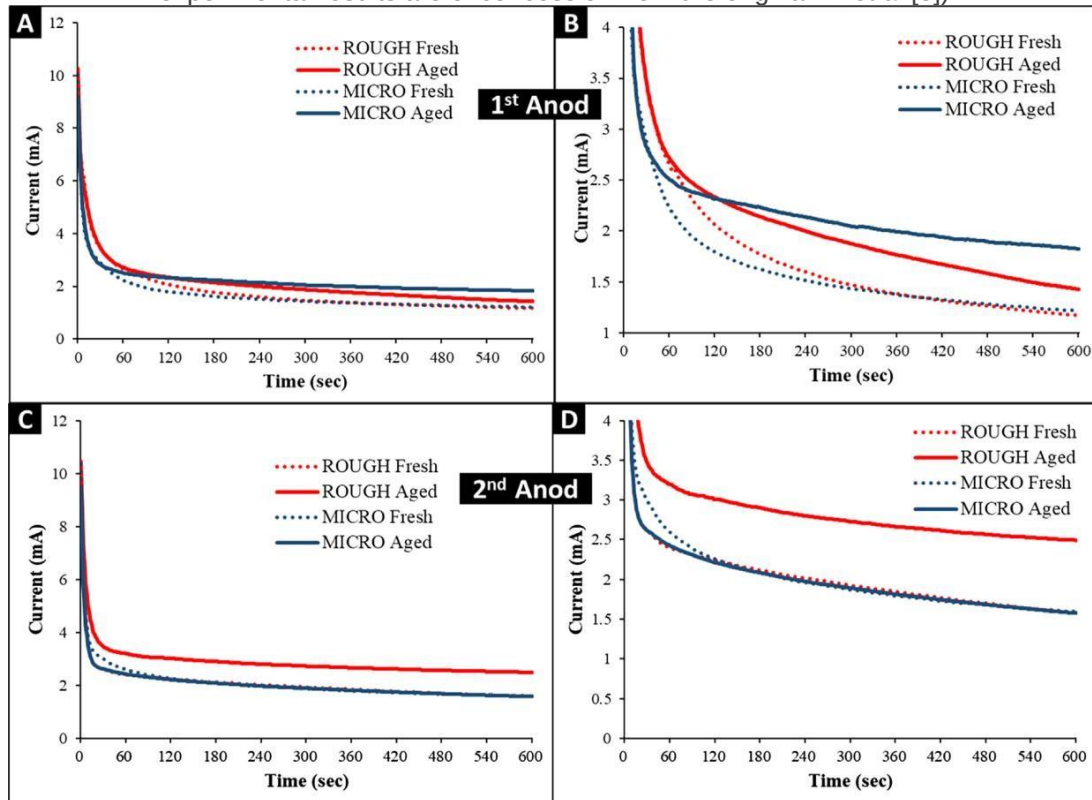
Consequently, in this case, the current density must decrease with an exponential behavior as a function of layer construction time, with or without nanostructures on its surface. Such a consequence is reflected in the current behaviors displayed in the experimental results given in graphs A until D in Fig. 04, where the anodizing engineering used was very similar to that performed by Guo *et al* [1], 2021, and described in section 2 of this article. In addition, this behavioral consequence is reflected in the current densities as a function of anodizing time given in the graphs performed by Gulati *et al* [3], 2015 and, more recently, in the graphs (mA/cm²) x anodizing time performed by Guo *et al* [10], 2022 (experimental results). In this case, it becomes more complicated to detect the presence of nanostructures, on the surface of the layer, by the behavior of the flux or current density through that layer under construction.

However, in the second case, if the interaction between the inner particles of the layer is weak or almost the same, comparatively, the interaction or energy of the constituent particles of the current under DC voltage, then the presence of nanostructures, for example: tubes, on the layer under construction, can be seen by the current particles. In other words, more precisely, the moving particles, which constitute the current, can be affected by the presence of nanostructures in formation on the surface of this layer.

As a consequence, the behavior of the current must be oscillatory as a function of the growth time of the layer or its potential energy. But now, the presence of nanostructures, for example: wells, contributed to making the oscillations much more defined and with well-localized maximum and minimum peaks. Thus, this cause and these behavioral effects indicate that there may be a network of nanostructures forming on the surface of this layer. Therefore, through these effects, nanostructures can be detected or inferred from their formations on the layer under construction. Such more accurate, selective and specific consequences for the behavior of the current are

reflected in the current densities as a function of the anodizing time displayed in phases I, II and III, of each graph, in a) and b) in Fig. 03 (which was analyzed in a generalized view (previous subsection), in order to introduce the effects of nanostructures on the current here). Also, these fine effects, for the behavior of the current, are manifested in the graphs of $(\text{mA}/\text{cm}^2) \times \text{anodizing time}$ published by Yang, P. *et al* [4], 2016, Mohan *et al* [7], 2020, Mor *et al* [9], 2005, Yang *et al* [11], 2019, Yan *et al* [12], 2017 and by several other researchers in this experimental area of new materials or biomaterials.

Fig. 04 - Current behavior as a function of the construction time of the anodized layer on the surface of **Rough-Ti** or **Micro-Ti** and forming nanostructures on this layer. Anodizing was carried out using new electrolyte (fresh) or using electrolyte already used in a first anodizing (aged). In **A** and **B**: results for **single-step** anodizing, under 60 V for 10 min each. In **C** and **D**: results for **two-step** anodizing, where the second anodizing was conducted under 60 V for 10 min each, after removing the anodized layer, in the first anodizing step, under 75 V, for 120 min each and with fresh electrolyte. (Here, these experimental results are of concession from the original: Li *et al* [5])



Thus, a cause-effect relationship becomes established between nanostructures on the surface of the layer under construction on a metal and particle current density through this layer and its nanostructures.

4.3 Origin of nanostructures with the behavior phase of the current

Here, by the causal proposal for the effects manifested in the behavior of the

current density, which was given in the two previous subsections, a more exact and wide answer is given to the important question: In which phase or moment of the current (I, II and III, in Fig. 03), can nanostructures be originated?

In this sense, the fundament of the causes for the effects observed in the behavior of the current is the interaction between particles of the current with particles of the layer under construction and their nanostructures. Then, the phase of the current, associated with the origin of the nanostructures, depends on the nature of the electrolyte, the anticipated preparation of the metallic surface and the external voltage on the anodizing engineering, which shoots these interactions in non-spontaneous cases.

Therefore, if the base surface undergoes mechanical, electrochemical or other external action, which produces impressions, for example: in the form of nanopores, on its surface, before anodization, then, by induction, nanostructures can be originated from some moment of the oscillatory phase I (see Fig. 03) or at some initial moment of the decaying exponential (see Fig. 04) of the current behavior as a function of anodization time.

But if, before anodizing, the base surface does not undergo any external action with the aim of inducing nanostructures, then phase I of the oscillatory behavior or the initial moments of the exponential drop of the current, as a function of time, may be associated with a thin layer under construction, without containing nanostructures on its surface, which offers a potential barrier against the passage of the constituent particles of the current. Thus, it is more likely that the nanostructures originate from some time in phase II of the current behavior. For example, at the beginning of phase II, which corresponds to the first local minimum of the oscillations given in the curves in Fig. 03. A case that occurs if the interactions between the particles forming the layer are not too intense to not be broken and do not occur generating chaos in the anodizing system conducted under external voltage.

However, as for the increase in the current intensity, in this phase II, only, it is not due to the presence of nanostructures. And, the larger fraction of this increase, mainly, may be due to the oscillations that arise in the behavior of the current through the layer, even when nanostructures do not originate on the surface of this layer under construction. Case that has already been explained in the two preceding subsections of this article. Therefore, at this phase, the contribution of nanostructures to the current increase may be small. Thus, the two contributions must be considered to form the

current profile shown in this phase II (The contribution of the layer and the contribution of the nanostructures, simultaneously).

Finally, by the causes and their consequences, for the behavior of the flow or current density and of the nanostructures, proposed here and proven in the anodization experiments, it can be said that:

“The total density and defined shape of the nanostructures occur approximately in $\frac{1}{2}$ (half) of the anodizing time or in $\frac{1}{2}$ (half) of the current flow time. The anodizing time or total current flow time here should end far enough away from the start of phase III to make the current flow the most stationary possible (constant). There being only phase I, in the behavior of the current, the time of total current flow must end when the current is quite a lot stationary (constant).”

5. CONCLUSIONS

Then, in this article, from a critical review, an original study is made of the causes and nature of the current density behaviors of charge carriers through a layer and their nanostructures in growth on a metallic surface under anodizing experiment. In complement and in the first place, too, an original study of the causes and origin of the behavior and geometry of nano and microstructures under construction on this layer, during the 'electrodynamics' of anodizing under different DC voltages, was made.

As the starting point was a critical review, the experimental graphics were taken from the scientific literature published in advance to this study. But the analyzes and proposals of the causes and their consequences for the current and the nano and microstructures are originally improved, more comprehensive and more accurate for the treatment of experimental results in this area.

5.1 Causality proposal for the current behavior

In summary, the proposal of the causes for the current behavior of charge carriers was improved, more comprehensive and more accurate, assuming as a model, the study of the 'electrodynamics' of particles in the presence of a growing barrier potential, which is associated with the layer under construction on the surface of a metal subjected to anodizing engineering under external voltage.

Thus, if the interactions of the particles of the layer (or energy of the charge carriers), comparatively, are much more intense than the interactions of the constituent particles of the current, then it results that the intensity of the current will decrease with

an exponential behavior until reaching a behavior stationary (constant) and, appreciably, will not suffer effects generated by the presence of nanostructures on the layer, both in simultaneous growth. Therefore, detecting nanostructures by the direct behavior of current density becomes more complicated in this case.

But, if the interactions of the particles of the layer, comparatively, are very close or smaller than the interactions, as a whole, of the constituent particles of the current, then it results that the intensity of the current, besides decreasing exponentially, will present a behavior oscillatory and will suffer effects produced by the presence of nanostructures originated on the layer, which is under construction. Therefore, each increase in the current, in its phases of behavior (phase II, in Fig. 03, for example), must not be caused only by the presence of nanostructures. The increase in the current is more because of the maximum interaction capacity (energy) offered by the constituent particles of the current, which independent of the presence of nanostructures forming on this layer, in this case, will have an oscillatory nature. Therefore, there will be two contributions to the behavior of the current in this case: one originating from the barrier and the other originating from the nanostructures.

Thus, a relationship between current density behavior and nanostructures is established, where fine effects on current behavior are produced by the origin of nanostructures on the layer under construction on the surface of a metal. Then, the behavior of the current density, as a function of time or energy of the layer under construction, may indicate that nanostructures are being originated on the surface of the layer. Nanostructures that may be originated in phase I or phase II of the behavior of current density or particle flux through the layer under construction (See Fig. 03, for example, and more details are in sections 4.2 and 4.3 of this article).

5.2 Causality proposal for the behavior of nanostructures

The causes for symmetry or alignment and others observed in the distribution of nanostructures on the surface of the anodizing layer, again, were better established by studying external action-reaction on the surface and the interactions between charge-carrying particles of the electrolyte medium and the surface under action. of external voltage.

Thus, external mechanical actions on the metal surface formed homogeneous centers of mass and in the form of lines between grooves, where interactions within

these centers became much weak in relation to other regions of the surface. Therefore, it is along these centroids that the interactions between the actions of the Fields of the surface and the electrolyte medium are drastic. Then, on a Micro-Ti metallic surface with these characteristics and under 'electrodynamics' of anodizing, the charge-bearing particles bind to these unidirectional regions point-to-point preferentially. Consequently, these centers of mass induce the nanostructures (pores, for example) to be symmetrically originated and distributed (aligned) in these surface regions, if the anodizing system under voltage is conducted without chaos. For example, SEM images of the Ti-Matrix surfaces identified by A40, A60 and A80, in Fig. 01, show these consequences or results.

Opposite case, that is, if the centers of mass are heterogeneous and randomly distributed over the surface, then the nanostructures take a non-symmetrical distribution over the layer under construction on the metallic surface under anodizing engineering. In this case, if the metallic surface did not suffer an external action weakening its interactions, it also results that the rays of openings of the nanostructures must be smaller than those of nanostructures in symmetrical distribution, if the same anodization conditions are maintained for both cases. Additionally, if the quantity of centers of mass and their total mass are greater on this surface, in the case under study it is Rough-Ti compared to Micro-Ti, then, consequently, greater is the density of nanostructures on the anodized layer on this metallic surface. As an example, the SEM images of the Ti-Matrix surfaces identified in pairs R40 and A40, R60 and A60, R80 and A80, in Fig. 01, reveal these consequences or results.

In both cases, these interactions within the centers of mass have a maximum intensity limit for each surface, Rough-Ti or Micro-Ti, under anodizing engineering. Then, how bigger the DC voltage for each anodizing process, greater is the external action and, consequently, the greater the diameter of the symmetrical opening of the nanostructure, up to the supportable limit of these interactions. At this point, any increase in intensity at constant voltage will break the nanostructure. These consequences, for example, are reflected, again, in the SEM images of the Ti-Matrix surfaces identified in pairs R40 and A40, R60 and A60, R80 and A80, in Fig. 01.

As for the origin of the symmetrical geometric shape of the nanostructure (for example: pore) it must be originated from some specific interaction between charge-carrying particles under the action of the external and internal fields, simultaneously, in the medium. This interaction mechanism can be imagined as the one that occurs in

the formation of a capacitor of nanogeometric dimensions (nanocapacitor) when the equilibrium between the forces in action-reaction in the nanostructure is reached. For the anodizing layer on the metallic surface, this dynamic appears locally point to point and separated by regular distances between the particles, that is, separated by distances that tend to be of the same length, how much more homogeneous the mass distribution in the centers of mass and its chemical composition and, complementarily, if the internal interactions within these centers are 'weak', comparatively, the electrolyte and external voltage interactions in actions (details are in Fig. 02 and subsection 3.2 of this article).

Then, in the foreground, here ends this study for the fundamental causal proposals of the behaviors, the origin and the shape of the nanostructures and current of charge carriers through a layer under construction on the surface of a metal subjected to anodizing engineering. Thus, more comprehensive, more exact and better understood become the manifestations of the characteristics, for example: symmetry, anti-corrosion, resistance, impedance, wettability (Mendes *et al* [13], 2020), etc., of the nanostructures on a layer built on the surfaces of a metal as a base. Properties that promote the construction of Ti-Matrix body implant, dielectric, nanobarrier potential network or nanowell or other suitable and useful scientific apparatus, for example: photocatalysis (Adamski *et al* [14], 2020).

ACKNOWLEDGEMENTS

The author of this article is grateful to CAPES and CNPq as institutions that support research, teaching and extension within the scope of the Faculty of Engineering and Sciences of Guaratinguetá belonging to Paulista State University "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP).

STATEMENT OF CONFLICT OF INTEREST

Also, this author declares that there are not potential conflicts of interest in the authorship and participation of the scientific work studied and prepared here for submission to institutions of foreign or national scientific publications. Grateful!

REFERENCES

- T. Guo, N. A. K. Oztug, P. Han, S. Ivanovski, K. Gulati, 2021. Untwining the topography-chemistry interdependence to optimize the bioactivity of nano-engineered titanium implants. *Appl. Surf. Sci.* 570, 51083. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2021.151083>
- D. Regonini, C. R. Bowen, A. Jaroenworarluck, R. Stevens, A review of growth mechanism, structure and crystallinity of anodized TiO₂ nanotubes, *Mater. Sci. Eng., R* 74 (2013) 377-406. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mser.2013.10.001>
- K. Gulati, A. Santos, D. Findlay, D. Losic, Optimizing Anodization Conditions for the Growth of Titania Nanotubes on Curved Surfaces, *J. Phys. Chem. C* 119 (2015) 16033- 16045. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.5b03383>
- P. Yang, Y. Liu, S. Chen, J. Ma, J. Gong, T. Zhang, X. Zhu, Influence of H₂O₂ and H₂O content on anodizing current and morphology evolution of anodic TiO₂ nanotubes, *Mater. Res. Bull.* 83 (2016) 581-589. <http://dx.doi.org/10.1016/j.materresbull.2016.07.006>
- T. Li, K. Gulati, N. Wang, Z. Zhang, S. Ivanovski, Bridging the gap: Optimized fabrication of robust titanium nanostructures on complex implant geometries towards clinical translation, *J. Colloid Interface Sci* 529 (2018) 452-463. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.06.004>
- J. Jeon, J. Kim, J. Ahn, D. R. Kim, Direct growth of hierarchical nanoneedle arrays with branched nanotubes from titanium foil with excellent anti-corrosion and superhydrophilicity, *Chem. Eng. J.* 372 (2019) 616-623. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.143>
- L. Mohan, C. Dennis, N. Padmapriya, C. Anandan, N. Rajendran, 2020. Effect of Electrolyte Temperature and Anodization Time on Formation of TiO₂ Nanotubes for Biomedical Applications. *Mater. Today Commun.* 23, 101103. <https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2020.101103>
- H. Jodati, B. Yilmaz, Z. Evis, Calcium zirconium silicate (baghdadite) ceramic as a biomaterial, *Ceram. Int.* 46 (2020) 21902-21909. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2020.06.105>
- G. K. Mor, O. K. Varghese, M. Paulose, C. A. Grimes, Transparent highly ordered TiO₂ nanotube arrays via anodization of titanium thin films, *Adv. Funct. Mater.* 15 (2005) 1291-1296. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adfm.200500096>
- T. Guo, S. Ivanovski, K. Gulati, Fresh or aged: Short time anodization of titanium to understand the influence of electrolyte aging on titanium nanopores, *J. Mater. Sci. Technol.* 119 (2022) 245-256. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2021.11.050>
- F. Yang, X. Feng, F. Ge, T. Zhang, J. Qi, D. Li, X. Zhu, Rapid growth of titanium oxide nanotubes under the critical breakdown voltage: Evidence against the dissolution reaction of fluoride ions, *Electrochem. Commun.* 103 (2019) 17-21.

<https://doi.org/10.1016/j.elecom.2019.04.010>

S. Yan, Y. Chen, Z. Wang, A. Han, Z. Shan, X. Yang, X. Zhu, Essential distinction between one-step anodization and two-step anodization of Ti, *Mater. Res. Bull.* 95 (2017) 444-450. <http://dx.doi.org/10.1016/j.materresbull.2017.08.025>

D. T. S. L. Mendes, E. S. Chaves, M. C. S. S. Macedo, C. X. Resende, Study of the wetness of TiO₂ nanotubes incorporated with Ag and ZnO nanoparculs, *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, 6 (10) (2020) 74439-74453. doi:10.34117/bjdv6n10-027 <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/index>

J. Adamski, L. M. Antonini, M. Oliveira, C. Aguzzoli, R. Hübler, A. De León, J. Bussi, C. F. Malfatti, Desempeño fotoelectroquímico de nanoestructuras de niobio obtenidas por anodización: efecto de la concentración de glicerol, *Braz. J. of Develop.*, Curitiba, 6 (9) (2020) 73586-73597. doi:10.34117/bjdv6n9-715 <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/issue/view/103>

CAPÍTULO 08

ÓLEOS ESSENCIAIS NO CONTROLE DE PRAGAS DO CAJUEIRO

Raimundo Braga Sobrinho

Ph.D em Entomologia pela Oklahoma State University - Stillwater, Oklahoma, USA

Instituição: Embrapa Agroindústria Tropical

Endereço: 2.270, Dra. Sara Mesquita, Planalto Pici, Fortaleza-Ceará, Brasil

E-mail: raimundo.braga@embrapa.br

Antonio Lindenberg Martins Mesquita

Doutor em Entomologia Agrícola pela École Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier (França)

Instituição: Embrapa Agroindústria Tropical

Endereço: 2.270, Dra. Sara Mesquita, Planalto Pici, Fortaleza-Ceará, Brasil

E-mail: lindenberg.mesquita@embrapa.br

Maria do Socorro Cavalcante de Sousa Mota

Mestre em Defesa Sanitária Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)

Instituição: Embrapa Agroindústria Tropical

Endereço: 2.270, Dra. Sara Mesquita, Planalto Pici, Fortaleza-Ceará, Brasil

E-mail: socorro.mota@embrapa.br

RESUMO: A literatura sobre os óleos essenciais e espécies detentoras de compostos bioativos é por demais vasta e diversificada. Agregam-se ao tema os processos de extração, uso na agricultura, na medicina, veterinária, química fina, na indústria farmacêutica, cosmética, aromática e em outros mais diversos usos e utilidades. Neste trabalho de revisão bibliográfica adotou-se uma forma de narrativa exploratória tendo por base amostras de publicações científicas nacionais e internacionais encontradas na plataforma Scielo e Google e em outras fontes. Constatou-se a imensa diversidade do tema “óleos essenciais” mostrada pelo grande número de “papers” explorando os mais diversos segmentos de usos e aplicações. Uma revisão bibliográfica se configura como uma atividade muito ampla e diversificada. Qualquer tentativa de abordagem em determinado tema conduzirá a um mundo de informações de árdua catalogação. Há necessidade de se estruturar em temas bem específicos a fim de que se possa selecionar trabalhos direcionados para o objetivo proposto. No caso específico de “óleos essenciais de plantas” para uso como inseticidas naturais ainda é uma matéria vastíssima. Portanto, esse trabalho se propõe a fazer uma revisão bibliográfica muito focada no uso de óleos essenciais para o controle de pragas do cajueiro.

PALAVRAS-CHAVE: *Anacardium Occidentale*; Compostos Bioativos; Fitotoxicidade; Taxa De Mortalidade De Insetos.

ABSTRACT: The literature on plant essential oils and species with bioactive compounds are too big and diversified. In addition to this subject there are processes of extraction, use in the agriculture, medicine, veterinary medicine, chemistry, cosmetics, aromatic and pharm industries and in others uses and utilities. In this bibliographic review was adopted a narrative and exploratory format based on samples of national and international scientific publications found mainly in the Scielo

and Google platforms. It was recognized that plant essential oils is a huge and diversified subjects shown by the high number of papers and related information. Indeed a bibliographic review is recognized as a large and diversified activity. Any attempt to approach a specific subject will lead to a world of many papers of hard of cataloging. There is a necessity of organize themes to specific subjects focused in the objective. In the specific case of plant essential oils is still a highly large subject. Therefore, this work aims at search for bibliographic survey on use of essential oils in the control of cashew pests.

KEYWORDS: *Anacardium Occidentale*; Bioactive Compounds; Fitotoxicity; Insect Mortality Rate.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura mundial vem enfrentando diversos problemas nos seus sistemas produtivos sempre focados na redução dos custos de produção, aumento da produtividade, preservação do meioambiente e uso de agrotóxicos. De todos eles, o uso indiscriminado de produtos químicos para o controle de artrópodes-praga tem sido geralmente, o mais enfatizado devido os seus efeitos na qualidade do alimento, meio-ambiente e os elevados custos de controle (LOPES e ALBUQUERQUE, 2018; LEW e CHOI, 2020; RANI *et al.*, 2021). Por outro lado, a busca por produtos alternativos à base de compostos bioativos em substituição aos inseticidas constitui um grande esforço para reduzir todos os impactos negativos aos ecossistemas (PORTER *et al.*, 2018; HERMAN *et al.*, 2019; FAO, 2021).

Como exemplo, a grande diversidade de espécies com potencial de produção de compostos bioativos, RODRIGUES e OLIVEIRA (2021), fizeram menção à família Piperaceae que contém cerca de 3700 espécies agrupadas em cinco gêneros, sendo que três, *Piperomia*, *Piper* e *Manekia* são comuns na região amazônica e mata atlântica (BRITO e PEREIRA, 2019). O gênero *Peper* sendo o mais abundante, destaca-se com grande potencial como alternativa sustentável aos agroquímicos de origem sintética (MELO e ALVES, 2019).

A área global plantada com o cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) em 2018 atingiu cerca de 97 milhões de hectares com a maior concentração na Costa do Marfim (28%) e Índia (17%). O Brasil posicionou-se em sexto lugar com 439,2 mil hectares. Desse total, 99,5% encontra-se na região Nordeste. Os maiores exportadores de amêndoas de castanha de caju são o Vietnã e Índia. O Brasil encontra-se na sétima posição, participando apenas com 2,0% das exportações mundiais de amêndoa de castanha de caju. O Brasil é o terceiro maior importador de castanha de caju in natura, chegando a 22 mil toneladas anualmente (ETENE, 2020). É uma cultura social e economicamente importante para o Brasil, especialmente para a região nordeste do país. Desde as últimas três décadas a produção dessa anacardiácea vem passando por vários problemas conjunturais que têm limitado significativamente a sua expansão e competitividade. Os danos provocados por pragas vêm causando perdas relevantes na produção e qualidade das amêndoas e pseudofrutos, exigindo para o seu controle, o uso indiscriminado de inseticidas sintéticos não aprovados para a cultura e pragas em questão, aumentando os custos de produção, afetando a qualidade do produto

para o consumo, contaminando o meio-ambiente, animais em geral e o agricultor.

Levando em consideração os danos econômicos, a redução na qualidade da produção e as dificuldades no controle, podem ser selecionadas da relação de pragas do cajueiro descritas por MESQUITA *et al.* (2017), os quatro mais importantes insetos-praga de ocorrência generalizada todos os anos e que realmente requerem um manejo adequado com uso do controle químico: Broca-das-pontas - *Anthistarcha binocularis* Meyrich (Lepidoptera: Gelechiidae) - sua importância está em razão do dano que ocasiona aos ramos frutíferos, provocando a sequia e a não formação de frutos; Traça-das-castanhas, *Anacampsis phytomiella* Busck (Lepidoptera: Gelechiidae), como o alvo é o fruto (castanha), a larva destrói totalmente a amêndoa, causando perda total da produção; Pulgão-das-inflorescências, *Aphis gossypii* Glover (Homoptera: Aphydidae), ao sugar intensamente a seiva da inflorescência, causa significativa redução na produção, tamanho e formação de frutos; e a Mosca-branca, *Aleurodicus cocois* Curtis (Homoptera: Aleyrodidae) – vem sendo considerada uma praga de ocorrência constante todos os anos, produz severos danos à planta pela sucção da seiva, formação de fumagina com consequente redução significativa da produção.

A produção de alimentos e fibras tanto de origem vegetal e animal sempre teve que enfrentar problemas provocados por pragas e doenças. No caso das frutíferas perenes, vários artrópodes-praga despontam como limitantes da produção de frutas, podendo inviabilizar economicamente a atividade, reduzindo o atendimento das demandas dos mercados interno e externo. O uso sistemático de inseticidas convencionais nas mais diversas formulações químicas para o controle dos insetos-praga na agricultura vem sendo contestado há vários anos por seus efeitos deletérios aos ecossistemas. O emprego de produtos naturais à base de compostos bioativos de plantas tem despontado como uma importante alternativa que pode viabilizar, de forma amigável, o controle de pragas na cultura do cajueiro (MOTA *et al.*, 2017; BRAGA SOBRINHO *et al.*, 2018). Portanto, especificamente, neste trabalho tentar-se-á apresentar de forma narrativa (CORDEIRO *et al.*, 2007), uma revisão sobre o uso de óleos essenciais de plantas no controle de pragas de importância econômica na cultura do cajueiro.

2. OBJETIVO GERAL

Considerando a grande diversidade do tema “óleos essenciais de plantas” incluindo a identificação de espécies, obtenção/extração, composição química desses compostos bioativos, testes para usos doméstico e agroindustrial em geral, verificou-se a necessidade de mostrar, inicialmente, a diversidade do tema e em seguida, estreitar o escopo, centrado em uma revisão bibliográfica com trabalhos dos últimos 10 anos, focando no objetivo que é a elaboração de uma revisão de literatura sobre o uso dos óleos essenciais como agentes no controle de artrópodes-pragana cultura do cajueiro, utilizando a Plataforma Scielo, Google acadêmico e outras fontes nacionais e internacionais.

3. DIVERSIDADE DE USO DOS ÓLEOS ESSENCIAIS (REFERENCIAL TEÓRICO)

A literatura sobre os óleos essenciais e espécies detentoras de compostos bioativos é por demais vasta e diversificada. Agregam-se ao tema os processos de obtenção, uso na agricultura, na medicina, veterinária, química fina, na indústria farmacêutica, cosmética, aromática e em outros mais diversos usos e utilidades. Tudo isso, resulta em um trabalho de difícil catalogação devido à dinâmica que envolve estes temas incluindo os processos de produção, obtenção da matéria prima e as transformações agroindustriais. O conhecimento da diversidade e uso de compostos bioativos de plantas é bastante antigo, remonta de vários séculos antes da era cristã. Há relatos de práticas muito comuns pelos chineses, egípcios, gregos e romanos. Os mais diversos extratos e emulsões eram usados para o controle de pragas e doenças em animais domésticos e, principalmente para os seres humanos no tratamento de várias enfermidades (THACKER, 2002). No entanto, a adoção do uso de produtos bioativos ainda se constitui em resistência por parte dos agricultores em geral. Alegam que há algumas desvantagens como a rápida degradação no meio-ambiente, custo e ação lenta, entre outras. Entretanto, as vantagens são tantas que superam qualquer problema no uso desses compostos botânicos. Algumas vantagens como: baixo poder residual, ação específica no inseto alvo, seletividade, baixa fitotoxicidade e baixíssimo risco ao aplicador (CLOYD, 2004; MOREIRA *et al.*, 2006; GOMES *et al.*, 2016). Estas evidências têm causado profundas mudanças na mentalidade do produtor e consumidor ao ponto de se observar de forma exponencial o crescimento do uso de

compostos bioativos para o controle de pragas e doenças, principalmente em frutíferas, hortaliças e na preparação agroindustrial de alimentos. Como os óleos essenciais são misturas complexas de substâncias voláteis lipofílicas, medicinais, aromáticas e condimentares, produzidas em diferentes partes da planta e geradas pelo metabolismo secundário vegetal não apresentando de um modo geral toxicidade residual, sendo também pouco ou não fitotóxico, podem portanto, ser usados conjuntamente em um programa de manejo de pragas (MORAIS, 2007; BRAGA SOBRINHO *et al.*, 2012; RAUT e KARUPPAYIL, 2014; PRADO, 2019).

É por demais vasta a lista de funções e usos dos óleos essenciais de plantas nos mais diversos segmentos dos setores industriais, agrícolas, farmacêuticos, domésticos e principalmente como agentes de controle natural e de autodefesa da planta e como forma ecologicamente amigável no controle de artrópodes-praga. Dentro desta linha de pensamento, (CRUZ *et al.*, 2009; BRAGA, 2012; MACHADO *et al.*, 2017; BENATO *et al.*, 2019), afirmam que o uso de produtos bioativos tem tido um papel preponderante no controle de pragas e patógenos de plantas, reduzindo consideravelmente o uso de produtos químicos convencionais. Para o controle de insetos-praga, são inúmeros os casos relatados na literatura sobre a eficácia utilizando óleos essenciais extraídos de espécies frutíferas, culturas anuais, ornamentais e hortícolas, essências florestais e medicinais, entre outras. É grande a quantidade de espécies botânicas que possuem componentes químicos úteis no controle de pragas agrícolas. Um catálogo de plantas com propriedades inseticidas foi elaborado por GAINGE e AHMED (1988) contendo cerca de 2400 espécies onde foram descritas com detalhes suas características morfológicas, princípios ativos, artrópodes-praga alvos, método de extração de seus óleos essenciais, seletividade aos inimigos naturais e a importância econômica da espécie em foco. No caso específico da mosca-minadora, *Liriomyza sativae*, importante praga de hortaliças e ornamentais, em estudo de avaliação de óleos essenciais, OLIVEIRA *et al.* (2020) constataram que os óleos essenciais extraídos de folhas de *Lippia gracillis* e *Lippia schaueriana* possuem atividades inseticidas sobre larva de *L. sativae* e as folhas de *Croton conduplicifolius* reduzem a oviposição e os caminhos de alimentação da mosca minadora do meloeiro. Daquela amostra, 256 possuíam componentes biologicamente ativos com potencial para ser usado contra pragas, como por exemplo, no controle dos percevejos *Nezara viridula* L. e *Euschistus heros* F. (PERES E FERREIRA, 2006) da mosca-branca, *Bemisia tabaci* Glenn, (GONÇALVES e BLEICHER, 2006), de insetos

de grãos armazenados (OGENDO *et al.*, 2008), da mosca-das-frutas (SILVA *et al.*, 2015) e da lagarta do cartucho do milho (GIONGO *et al.*, 2016).

É importante observar que os efeitos dos produtos bioativos sobre os artrópodes-praga, são os mais diversos, podendo atuar como tóxico, repelente, inibidor do crescimento, causar efeito deterrente, reduzir a prolificidade, entre outros. Isto significa que esses produtos não são menos tóxicos do que os agroquímicos convencionais e que os mesmos cuidados no manuseio e preparação das doses recomendadas devem ser observados. É relatado que os produtos à base de nicotina, extraída do fumo (*nicotiana tabacum*), a rianodina, obtida de *Lyania speciosa*, a sabadila da espécie *Schoenocalum officinale*, as piretrinas produzidas por *Chrysanthemum cinerariaefolium* e a rotenona das espécies *Derris* e *Lonchocarpus* (Fabaceae) fizeram parte das primeiras tentativas de uso de óleos naturais para o controle de pragas de forma sistemática e tecnicamente controlada. Alguns autores alertam que esses inseticidas botânicos mencionados acima são mais tóxicos que o malation, piretrino e carbaril (MOREIRA *et al.*, 2006).

Em trabalhos recentes com óleos essenciais de sementes de pinha, *Annona squamosa* L. e da graviola, *Annona muricata* L., importantes frutíferas, comuns nas áreas tropicais e subtropicais do globo, vários pesquisadores identificaram importantes componentes com ação inseticida, nematicida e bactericida (ISMAND e SEFFRIN, 2014; GAWALI *et al.*, 2017; MONDAL *et al.*, 2018; KATOLE *et al.*, 2021). Enfatizam os autores que as sementes destas plantas apresentam-se com grande potencial e oportunidade ao desenvolvimento de nano partículas de agentes naturais de controle em substituição aos inseticidas sintéticos largamente em uso na agricultura. A estratégia de uso das nano partículas tem sido explorado por outros autores ao avaliar o efeito da nano emulsão de *Rosmarinum officinalis* L. sobre a mosca das frutas *Bactrocera carambolae* Drew Hancock (Diptera: Tephritidae), praga quarentenária restrita aos estados do Amapá e Roraima, realizadas por SIDONIO (2017) que mostrou o potencial deste produto no manejo integrado ao causar a redução da expansão deste importante inseto-praga para outros estados, protegendo assim a fruticultura brasileira.

4. METODOLOGIA/DESENVOLVIMENTO

Neste trabalho de revisão bibliográfico adotou-se uma forma de narrativa

exploratória tendo por base amostras de publicações científicas nacionais e internacionais encontradas na plataforma Scielo e Google e em outras fontes. Constatou-se a imensa diversidade do tema “óleos essenciais” mostrado pelo grande número de “papers” explorando os mais diversos usos e aplicações. Uma revisão bibliográfica se configura como uma atividade muito ampla e diversificada. Qualquer tentativa de abordagem em determinado tema conduzirá a um mundo de informações de árdua catalogação. Há necessidade de se estruturar em temas bem específicos a fim de que se possa selecionar trabalhos direcionados para o objetivo proposto. No caso específico de “óleos essenciais de plantas” para uso como inseticidas naturais ainda é uma matéria vastíssima. Portanto, esse trabalho se propõe a fazer uma revisão bibliográfica muito focada no uso de óleos essenciais para o controle de pragas do cajueiro. Constatou-se que este tema óleos essenciais no controle de pragas do cajueiro, aparentemente deveria ter ficado mais acessível, mas contrariamente para o cajueiro, foi constatado a existência de um reduzidíssimo número de publicações. Por outro lado, ficou bastante evidente durante a seleção e leitura do material obtido nesta revisão bibliográfica a necessidade do entendimento da complexidade do assunto nas diversas fases desde a função desses compostos na planta, a interação com os artrópodes e agentes patogênicos e a influência do meio-ambiente sobre todas as funções de cada agente isoladamente ou no todo.

Dentro desse contexto, alguns autores citam que é fundamental entender os mecanismos de ação dos metabolitos primários, responsáveis pelas atividades fisiológicas da planta e dos metabolitos secundários que se encarregam da produção de terpenos, compostos fenólicos e nitrogenados para a produção de alcaloides, grandes responsáveis pela constituição de defesas das plantas contra artrópodes-praga e patógenos (VISOTO *et al.*, 2010). Outras importantes ações dos óleos essenciais, como por exemplo, estão no emprego e proteção de plantas produtoras de madeira contra pragas e patógenos. De um modo geral, esses óleos são compostos bioativos que podem ser extraídos de várias partes da planta como flores, folhas, frutos, caules, cascas e raízes e sementes utilizando a técnica da prensagem ou vapor. Como exemplo, COSTA *et al.* (2020), comprovaram a eficiência do extrato de hortelã (*Plectranthus amboinicus*, L. – Lamiaceae) no controle de cupins *Nasutitermes* sp. Os óleos essenciais extraídos das folhas de murteira (*Blepharocalyx salicifolius* (Kunth), apresentaram resultados relevantes na inibição de pragas e patógenos em geral, sendo evidenciado que a ação biológica é atribuída aos compostos presentes

com álcoois, terpenos e compostos nitrogenados. De todos os componentes, os terpenos são os mais abundantes nas espécies vegetais e sendo também o mais estudado no controle de pragas e doenças em plantas (SANTOS, 2016). Já outros autores (RIBEIRO *et al.*, 2020), ao avaliarem óleos essenciais de várias espécies das frutíferas, *Citrus* sp. e de manga, *Mangifera indica*, concluíram que para citros são os monoterpenos e para manga os terpenolenes os constituintes predominantes nos óleos essenciais que atuam com agentes eficientes na redução da fecundidade, interferindo significativamente no controle de pragas.

Muitas famílias botânicas são citadas em estudos por possuírem grande potencial de produção de compostos biotivos com ação inseticida. Como exemplo, as plantas das famílias Meliaceae, Rutaceae, Asteraceae, Annonaceae, Labiateae e Canellaceae entre outras, MOREIRA *et al.*, (2006). Nas duas últimas décadas com o aumento dos problemas de resistência de pragas aos inseticidas, ressurgência e erupção de pragas e os nefastos resultados do uso indiscriminado e inadequado de inseticidas de amplo espectro sobre os inimigos naturais e o meio-ambiente, tem aumentado o interesse no mundo inteiro por novas moléculas, inclusive por inseticidas botânicos (THACKER, 2002; MOREIRA *et al.*, 2006). Compostos bioativos podem ser uma estratégia também para reduzir o impacto sobre os polinizadores causados por inseticidas sintéticos, fato comprovado pela redução das colônias de abelhas, fenômeno denominado de Distúrbio do Colapsos das Colônias, colocando em risco a produção de colmeias e a redução da polinização (COSTA *et al.*, 2014). Na ação dos compostos bioativos em inimigos naturais, LEITE e BERTOTTI (2020) constataram que a aplicação de extratos caseiros de citronela, pimenta-do-reino e alho não causam efeitos deletérios na população de predadores de pragas em plantação de milho doce. Em outros estudos compreendendo cerca de 19 nano formulações de nim foram avaliadas visando o controle de ninfas de *Bemisia tabaci* Glenn, 1889, biotipo B (Hemiptera: Aleyrodidae). Desse total testado, duas formulações nano (NC-2 e NCL5L6-1) foram eficientes por causarem a mesma mortalidade, comparada à formulação comercial. A constatação foi que a ação sistêmica da nano formulação, depende das condições ambientais predominantes no local da aplicação e que a bioatividade da nanoformulação pode permanecer por 30 dias após a aplicação. Em outra pesquisa, nove óleos essenciais de diferentes espécies de plantas foram testados e avaliadas contra as pragas *Anticarsia gemmatilis* Hubner, 1818 (Lepidoptera: Erebididae) e *Helicoverpa armígera*, Hubner (Lepidoptera: Noctuidae).

Para estas espécies observou-se a bioatividade do óleo de basilicão (*Ocimum basilicum* L.), que pode ser devida à ação dos seus compostos majoritários (linalol, 1.8 cineol, cânfora e eugenol), PRADO *et al.*, (2019).

Estudos realizados por PAVELA (2004; 2005) concluíram que dos 34 óleos essenciais testados contra larvas de terceiro instar de *Spodoptera littoralis*, vinte foram altamente eficientes. Resultados semelhantes foram encontrados com *L. alba* contra *Spodoptera frugiperda* utilizando diferentes concentrações (NICULAU *et al.*, 2013). Em outros trabalhos, LIMA *et al.* (2008), concluíram que alguns óleos essenciais possuem altas atividades biológicas no controle de insetos, podendo ser indicados em programas de Manejo Integrado de Pragas. MELO (2014) constatou que o óleo essencial de *C. citratus*, nas concentrações de 0,5 % e 0,1% tiveram efeito repelente/deterrente para o pulgão da couve (*Brevicoryne brassicae* L). Outros óleos essenciais extraídos de *Azadirachta indica*, *C. winterinus*, *C. citratus* e *F. vulgare* na concentração de 0,5% apresentaram significantes percentuais de repelência de 100 e 84% e reduziram a produção de ninfas de *Aphis gossypii* em 100 e 92% (ANDRADE *et al.*, 2013). Ao constatar o efeito tóxico e fumigante de *O. gratissimum* contra pragas de grãos armazenados, OGENDO *et al.*, (2008), afirmaram que esse óleo essencial representa uma opção ecológica segura do ponto de vista alimentar, contra pragas dos grãos armazenados. Na mesma linha, os óleos essenciais de *Piper aduncum* L., *Lippia gracillis* Shauer causaram 100% de mortalidade e redução de ovos viáveis de *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae) em grãos de caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) em todas as concentrações (PEREIRA *et al.*, 2008).

No caso específico de impacto dos óleos essenciais no controle de pragas na cultura do cajueiro e de outras culturas perenes, os trabalhos realizados e os resultados obtidos até o momento são muito reduzidos, traduzindo-se em poucos avanços o que mostra um atraso tecnológico bastante visível. Entretanto, há um consenso entre a classe científica, acadêmica, técnicos e produtores da necessidade de uma maior concentração de esforços e direcionamento em busca de recursos financeiros para a apresentação e execução de projetos de pesquisa, tecnologia e inovação nesta vasta área de conhecimento, que permita recuperar o atraso e o desnível do arsenal de informação, tecnologia e inovação nesta área.

4.1 Óleos essenciais no controle de pragas do cajueiro

Como mencionada anteriormente, a mosca branca, *A. cocois* é considerada uma das importantes pragas do cajueiro pelos danos diretos que os adultos e principalmente as ninfas causam à planta mediante a sucção da seiva. Indiretamente, através de secreções açucaradas excretadas, favorecem o desenvolvimento de fumagina que recobre a parte abaxial das folhas e reduz significativamente a capacidade fotossintética da planta (MESQUITA e BRAGA SOBRINHO, 2013). Outra praga já citada, a traça-da-castanha do caju (*Anacampsis phytomiella*), principal praga dos frutos do cajueiro. Para seu controle foi comprovado ser eficiente o uso de óleos essenciais à base de alecrim-pimenta e citronela, comparável ao controle químico tradicional com sumition e decis (MESQUITA *et al.*, 2008). Para SILVA *et al.*, (2008) é notório o uso de diversos princípios ativos sem o devido registro para essa cultura. É sabido que esses produtos podem afetar as populações de polinizadores, especialmente as abelhas *Apis mellifera* L. Outra consequência é inviabilizar o consumo do mel pelos resíduos desses produtos, afetar o meio-ambiente e a saúde do trabalhador. Portanto, a busca de alternativas de controle eco amigável para esta praga tem sido realizado (BRAGA SOBRINHO *et al.*, 2018). Especificamente, para o controle de ninfas da mosca-branca-do-cajueiro e seu efeito em operárias de abelha, *A. mellifera*, constatou-se que os óleos de mamona (*Ricinus communis* L.), do nim (*Azadirachta indica* A. Juss) e da soja (*Glycine max* L. Merrill) a 2,0%, apresentaram uma eficiência de 91,0% no controle dessa praga entre o segundo e o quinto dia após a aplicação dos óleos, sem causar toxicidade às abelhas (SILVA *et al.*, 2008).

A necessidade da busca de novas alternativas tecnológicas voltadas para o controle de pragas na agricultura mundial tem sido focada nas pesquisas com diversas espécies de plantas que possuam compostos orgânicos com propriedades deterrentes ou repelentes e que causem impactos em populações de insetos-praga com risco mínimo ao meio-ambiente e ao homem. Considerando a importância do uso de estratégias ambientalmente aceitas no manejo integrado de pragas do cajueiro, foram obtidos resultados relevantes com testes de produtos naturais à base de óleos essenciais no controle da mosca-branca do cajueiro, concluindo-se pela recomendação desses óleos e dosagens em programa de manejo dessa praga (BRAGA SOBRINHO *et al.*, 2018).

4.2 Fitotoxicidade ao cajueiro

Em pesquisa com compostos bioativos de plantas contra insetos-praga o primeiro passo é avaliar qual a dose que pode causar algum efeito fitotóxico em geral (folhas, ramos flores e frutos). Utilizando 10 óleos essenciais das espécies *Ocimum basilicum* (manjerição-branco), *Lippia alba* (erva-cidreira), *Lippia sidoides* (alecrim-pimenta), *Ocimum gratissimum* L. (alfavaca-cravo), *Ocimum micranthum* (alfavaca-de-galinha), *Ocimum selloi* (elixir paregórico), *Mentha arvensis* (menta-japonesa), *Cymbopogon winterianus* (citronela), *Cymbopogon citratus* (capim-limão) e *Foeniculum vulgare* (erva doce) nas concentrações de 0,05; 0,1; 0,3; 0,5; 1,0 e 3,0% diluídos em água com o adjuvante Tween 20® a 0,125 v/v, BRAGA SOBRINHO *et al.*, (2018) constataram que todos os óleos essenciais nas concentrações inferiores ou iguais a 0,5% não foram fitotóxicos sobre as folhas e em frutos do cajueiro. De um modo geral, em concentrações superiores a 0,5%, houve um visível dano com manchas nas folhas e nos frutos do cajueiro para todos esses óleos essenciais empregados.

4.3 Toxicidade às abelhas

Em um trabalho de avaliação para toxicidade em abelhas, *Apis mellífera* L., utilizado 10 óleos essenciais e 6 concentrações, BRAGA SOBRINHO *et al.* (2018) constataram que embora tenha havido variação de toxicidade entre as espécies vegetais, todos apresentaram ações tóxicas e por via oral para as abelhas, independentemente da concentração no tempo de aferição de 48 horas. Ressalte-se que dos dez óleos testados, o de *Mentha arvensis* (menta-japonesa) se destacou dos demais por ter sido extremamente tóxico após as 24 horas da ingestão em concentração muito baixa de 0,516%. Ainda, segundo os autores, os óleos essenciais se mostraram mais tóxicos por via oral do que tópica. Esse padrão é o mesmo observado com inseticidas sintéticos e provavelmente se deve ao fato de que a dosagem tópica é aplicada apenas uma vez, enquanto na oral as abelhas têm acesso livre ao alimento contaminado, podendo se contaminar com quantidades bem maiores do produto testado (GURGEL, 2015; JIMENEZ e CURE, 2016).

O efeito de repelência é muito comum em avaliações de compostos bioativos no controle de pragas. Este efeito também foi constatado em abelhas e em outros

polinizadores (NAIK *et al.*, 2015; GUO *et al.*, 2016). Em outros trabalhos constatou-se que os compostos bioativos reduziram o impacto sobre os polinizadores causados por inseticidas sintéticos, fato comprovado pela redução das colônias de abelhas, fenômeno denominado de Distúrbio do Colapso das Colônias, colocando em risco a produção de colmeias e a redução da polinização (COSTA *et al.*, 2014; SILVA, 2016). Em inimigos naturais, LEITE e BERTOTTI (2020) constataram que a aplicação de extratos caseiros de citronela, pimenta-do-reino e alho não causam efeitos deletérios na população de predadores de pragas em plantação de milho doce.

4.4 Efeito em pragas do cajueiro

Em estudos de avaliação de óleos essenciais contra a mosca-branca do cajueiro, *A. cocois*, os extratos das espécies *L. alba*, *O. micrantomum*, *O. basilicum* e *C. citratus* nas concentrações de 89,0, 87,5, 82,5 e 80,0%, respectivamente, mostraram-se altamente eficientes no controle dessa praga, podendo ser usado em programa de manejo integrado (BRAGA SOBRINHO *et al.*, 2018).

Outros estudos utilizando óleos de mamona, soja e nim na concentração de 2,0% contra ovos e ninfas da mosca-branca do cajueiro, realizados por SILVA *et al.*, (2008), constataram uma eficiência de 70,7% para ovos e acima de 91,0% para ninfas. Enfatizam esses autores como esses óleos não foram aprovados para o controle da mosca-branca em cajueiro, recomendam o uso como adjuvantes em adubos foliares, que podem fornecer às plantas mais nutrientes para a frutificação ou mesmo junto como o oxicleto de cobre para o controle de antracnose, doença que ocorre em cajueiro no período de floração.

Em um Programa de Recuperação e Produção do Cajueiro no Rio Grande do Norte, ARAÚJO *et al.*, (2008) relatam total sucesso de controle da mosca-branca do cajueiro ao utilizaram uma mistura de 5% de óleo de algodão e detergente neutro na calda de pulverização.

5. CONCLUSÕES

A produção de caju de alta tecnologia e produtividade requer uma mudança substancial em todas as etapas do sistema produtivo. A começar pela substituição da planta chamada cajueiro gigante por cultivares precoce e obviamente mais produtiva e

que ofereçam castanhas com tamanhos adequados e pseudofrutos mais suculentos. Todas essas desejáveis características já foram conseguidas pela pesquisa científica. Entretanto, muitos problemas ainda continuam sem respostas definitivas, como por exemplo, os pomares ainda continuam vulneráveis a algumas importantes doenças e ao severo ataque de algumas pragas. Enquanto, pesquisas voltadas para identificar fontes de resistência a pragas e doenças não se completam, estudos alternativos utilizando compostos bioativos, encontrados com grande facilidade na natureza, podem ser a grande solução no curto/médio prazo para minimizar o uso de agroquímicos na produção de frutas, reduzindo assim a contaminação dos ecossistemas, produção de alimentos seguros e ambientalmente amigáveis.

No caso específico do uso de compostos bioativos no controle de pragas do cajueiro, salienta-se que este tema foi exaustivamente explorado nesta revisão bibliográfica na busca de fontes de informação sobre esta matéria. Ficou patente também que as pesquisas com compostos bioativos no controle de pragas e doenças nas grandes culturas do agronegócio são por demais vastas. Outra fonte bastante abundante encontra-se nas hortaliças e ornamentais. Entretanto, o arsenal de informações sobre este assunto para frutíferas perenes ainda está em processo de crescimento. Acredita-se que com base na premissa mundial de que em frutíferas não se devem usar inseticidas sintéticos, brevemente, ter-se-á um incremento do número de “papers” com informações relevantes para o controle de pragas utilizando óleos essenciais de plantas. No caso do cajueiro, atualmente, estão em curso projetos com várias ações de pesquisas voltadas para a identificação e avaliação da eficiência de óleos essenciais contra pragas e doenças. Portanto, conclui-se que é realmente muito pequeno a quantidade de “papers” versando sobre o uso de óleos essenciais no controle de pragas do cajueiro fato este que conduz a um reduzido número de trabalhos científicos publicados sobre o tema óleos essenciais no controle de pragas do cajueiro.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. H. de. OLIVEIRA, J. V. de.; LIMA, I. M. M. de.; SANTANA, M. F. de.; ARAÚJO, J. G. de; SANTOS, S. C. dos; FREITAS, M. L. de; MARACAJÁ, P. B.; NASCIMENTO, F. J. do. Revitalização de pomares de cajueiro e o controle da mosca-branca do cajueiro na Serra de Santana – RN Brasil: Uma intervenção da Extensão Rural. INTESA (Mossoró-RN). v. 2, pag.1-9. 2008.
- BENATO, E. A.; BELLETE, T. C.; TERAPO, D.; FRANCO, D. A. S. Óleos essenciais e tratamento térmico no controle pós-colheita de bolor verde em laranja. Summa Phltopathology, Botucatu, v. 44, n.1, p. 65-71, 2018.
- BRAGA SOBRINHO, R.; MESQUITA, A. L. M.; ARAÚJO, K. L. B.; MOTA, M. S. C. S.; PIMENTEL, F.A.; GUIMARÃES, J. A.; DIAS, N. S. Avaliação de fitotoxicidade de óleos essenciais de plantas ao meloeiro. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, Bol. n. 71, 2012. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/94079/1/Bd-71>>.
- BRAGA SOBRINHO, R.; Mota, M. S. C. S.; PEREIRA, R. C. A.; Rocha, F. N. B. Potencial de Óleos Essenciais no Controle de Aleurodicus cocois (Curtis, 1846) em Cajueiro. Embrapa-CNPAT, Bol. Pesq. Desenv. N. 182, 22 p, 2018.
- BRAGA, D. O; Qualidade pós-colheita de morangos orgânicos tratados com óleos essenciais na pós-colheita. Diss. Mest. Univ. Fed. Lavras – MG. 75p 2012.
- BRITO, A.; C.; PEREIRA, L. A. Nível de conservação de peperomia Ruiz & Pav. (PIPERACEAE) no estado Amapá. Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal, v. 34, n.2, p. 46-58, 2019.
- CORDEIRO, A. M.; OLIVEIRA, G. M. de. RENTERIA, J. M.; GUIMARÃES, C. A. Revisão sistemática: uma narrativa. Rev. Col. Bras. Cir. V. 34(6), pag. 428-431. 2007.
- COSTA, E. M.; ARAÚJO, E. L.; MAIA, A. V. P.; SILVA, F. E. L.; BEZERRA, C. E. S.; SILVA, J.G. Toxicity of insecticides used in the brazilian melon crop to the honey bee, Apis mellifera, under laboratory conditions, Apidologie, v. 45, n. 1, p. 34-44, 2014.
- COSTA, P. M. de.; SILVA, M. D. A. da.; SANTOS, M. B. dos. Controle de cupins (Nasutitermes sp.) com o uso da tintura de hortelã (Plectranthus amboinicus L.). Agrop. Cient. Semiárido, v. 16, n. 2, p.71-74, 2020.
- CRUZ, M. E. E.; ITAKO, A. T.; MESQUINI, R. M. Óleos essenciais no controle pós-colheita de Colletotrichum gloeosporioides em mamão. Rev. Bras. Plant. Med. Botucatu, v. 11, n.4, p.399-406, 2009,
- ETENE – Banco do Nordeste. Caderno Setorial – Fruticultura. Ano 5 n.114, 16p. 2020.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS.

Faostat. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.

HERMAN, R. A.; AYEPA, E.; SHITTIU, S.; FOMETU, S. S.; WNAG, J. Essential oils and their application – A mini review. *Advances in Nutrition & Food Science*, v. 4, n. 2, 2019, p.1-13.

GAINGE, M.; AHMED, S. *Handbook of plants on pest control properties*. John Wiley & Sons, 1988. New York.

Gawali, A. V.; DEOTALE, S. K.; SHAIKH, Y. *Annona squamosa: A Source of natural pesticide*. *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology*. 4(3):189-190, 2017.

GOMES, I. B.; TRINDADE, R. C. P.; SANT'ANA, A. E. G.; LEMOS, E. E. G. LEMOS, E. E. P. de.; JUNIOR, I. D. B. Bioactivity of microencapsulated soursop seeds extract on *Plutella xylostella*. *Crop Protection Cien. Rural* 46(5). 2016.

GIONGO, A. M. M.; VENDRAMIM, J. D.; FREITAS, S. D. L.; SILVA, M. F. G. F. Toxicity of Secondary Metabolites from *Meliaceae* Against *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology (Impresso)*, v. 45, p. 725-733, 2016.

GONÇALVES, M. E. de. C.; BLEICHER, E. Uso de extratos aquosos de nim e azadirachina via sistema radicular para o controle da mosca-branca em meloeiro. *Ciê. Agron. Fortaleza*, v. 37, n. 2, p. 37-41. 2006.

GUO, S.; ZHANG, W.; LIANG, J.; YOU, C.; GENG, Z.; WANG, C.; DU, S. Contact and repellent activities of the essential oil from *Juniperus formosana* against two stored product insects. *Molecules*, 21, 504; 2016.

GURGEL, L. S. Estabelecimento de parâmetros toxicológicos de imidacloprido, para as abelhas sem ferrão *Scaptotrigona* sp. nov. Dis. Mestrado (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2015. 43 pp.

HERMAN, R. A.; AYEPA, E.; SHITTIU, S.; FOMETU, S. S.; WNAG, J. Essential oils and their application – A mini review. *Advances in Nutrition & Food Science*, v. 4, n. 2, 2019, p.1-13.

ISMAN, M. B.; SEFFRIN, R. Natural insecticides from *Annonaceae*: a unique example for developing biopesticides. In: SINGH, D. (Ed.). *Advances in plant biopesticides*. Amsterdam: Springer, 2014. v. 15, chap. 2, p. 21-33, 2014.

JIMÉNEZ, D. R.; CURE, J. R. Efecto letal agudo de los insecticidas en formulación comercial Imidacloprid, Spinosad y Thiocyclam hidrogenoxalato en obreras *Bombus atratus* (Hymenoptera: Apidae). *Revista de Biología Tropical* 64: 1-9. 2016.

KATOLE, R. M.; SHARMA, M.; JOSHI, C. K. *Annona squamosa* L. as a potential natural botanical pesticide and its futuristic research scope: a Review *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 22(41-42), 75-98. Jul. 2021. Disponível em: <http://achives.Bioconference.cg.in/index.Php/PCBMB/article/view/6683>.

LEE, G. H.; CHOI, K. C. Adverse effects of pesticides on the functions of immune system. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, v. 235, 2002, p.1-7.

LEITE, T. V. P.; BERTOTTI, D. L. Efeito dos inseticidas botânicos aplicados no manejo agroecológico de pragas na cultura do milho doce. *Rev. Bras. Agroamb. Desenvol. Sust.*, v. 1, n.1,pg. 15-20, 2020.

LIMA, R.; CARDOSO, M. G. das; MORAES, J.; VIEIRA, S.; MELO, B.; FILGUEIRAS, C. Composição dos óleos essenciais de Anis-estrelado *Illicium verum* L. e de Capim-limão, *Cymbopogon citratus*: Avaliação do efeito sobre *Brevicoryne brassicae* L. *Rio Assay*, v.3, p. 1809-1819, 2008.

MACHADO, R. F. C.; ANDRADE, E. A.; WOBETO, C.; BONADO, S. M. Óleos essenciais na qualidade e no controle de podridões pós-colheira em tomate. *Rev. Cien. Agroambientais*, v. 15, n.1, p. 11. 2017.

LOPES, C. V. A.; ALBUQUERQUE, G. S. C. de. Agrotóxicos e seus compostos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. *Rev. Saúde*, 42(117), Apr.-Jun, 2018.

MELO, D. R. Atividade do óleo essencial de *Lippia sidoides*. (Verbenaceae) e dos monoterpenos timol e carvacrol sobre larvas e pupas de *Musca domestica* L. 1758 (Diptera: Muscidae). U.F. Juiz de Fora. Dissert. 42p, 2014.

MELO, A.; ALVES, M. Novos registros de espécies de *Piper* L (Piperaceae) em estados da Amazônia brasileira. *Biota Amazônica*, v., 9, n.1, p.26-30, 2019.

MESQUITA, A. L. M.; OLIVEIRA, V. H.; BRAGA SOBRINHO, R.; ELOY, W. M.; INNECCO, R.; MATOS, S. H. Controle da traça-da-castanha com produtos à base de óleos essenciais e hidrolatos. *Com. Tec. n. 135*. Embrapa, Fortaleza, 2008, 3p.

MESQUITA, A. L. M.; BRAGA SOBRINHO, R. Pragas do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. (Ed.) *Agronegócio do caju: práticas e inovações*. Brasília: Embrapa, 2013, p. 195-215.

MONDAL, P.; BISWAS, S.; PAL K.; PRASAD, R. D. *Annona squamosa* as a potential botanical insecticide for agricultural domains: A review. *International Journal of Bioresource Science*, 5(1):81-89, 2018.

MOREIRA, M. D.; PICANÇO, M. C.; SILVA, E. M. da; MORENO, J. C. Uso de inseticidas botânicos no controle de pragas. PDF Alternativa de Pragas – Researchgate.net, 25p. 2006.

MOTA, M. S. C. S.; MESQUITA, A. L. M. Biologia e aspectos morfológicos da mosca-branca-do-cajueiro *Aleurodicus cocois* (Curtis, 1846). Embrapa Agroindústria Tropical, Comunicado Técnico (INFOTECA-E), 2018.

MOTA, M. S. C. S.; SILVA, R. S.; SILVA, G. A.; PICANÇO, M. C.; MESQUITA, A. L. M.; PEREIRA, R. C. A. Potential of allelochemicals from basil (*Ocimum micrathum*

Willd) to control whitefly (*Aleurodicus cocois* Curtis, 1846) in cashew nut crops (*Anacardium occidentale* L.). *Allelopathy Journal* (SI), v. 40, n.2, p. 197-208, 2017.

NICOLAU, E. S. dos.; ALVES, P. B.; NOGUEIRA, P. C. L. de.; MORAES, V. R. S. de.; MATOS, A. P.; BERNARDO, A. R.; VOLANTE, A. C.; FERNANDES, J. B.; Atividade inseticida de óleos essenciais de *Pelargonium graveolens* Herit E *Lippia alba* (mil) N.E. Brown sobre *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Quim. Nova*, v. 36 n. 9, 1391-1394. 2013.

OGENDO, J. O.; KOSTYUKOVSKY, M.; RAVID, U.; MATASYOH, J. C.; DENG, A. L.; OMOLO, E. O.; KARIUKI, S. T.; SHAAYA, E. Bioactivity of *Ocimum gratissimum* L. oil and two constituents against five insect pests attacking stored food products. *J. Journal of Stored Products Research*. 44(4), 328 – 334. 2008.

OLIVEIRA, A. C.; LIMA, T. C. C.; SOUZA, V. V.; GERVÁSIO, R. C. Essential oils activity from plantas of the brazilian caatinga on the vegetable leafminer. *Pesq. Agropc. Trop.* N. 60, 2020. Disponível em <https://doi.org/10.1590/1983-40632020v5058313>

PAVELA, R. Insecticidal activity of certain medicinal plants. *Fitoterapia*, v. 75, p.745-9, 2004.

PAVELA, R. Insecticidal activity of some essential oils against larvae of *Spodoptera littoralis*. *ELSEVIER*, vol. 76, 7-8, pg. 691-696. 2005.

PEREIRA, R. C. A. Potential of allelochemicals from basil (*Ocimum micranthum* Wild) to control whitefly (*Aleurodicus cocois* Curtis, 1846) in cashew nut crop (*Anacardium occidentale* L.) *Allelopathy journal*, 4. 40, n.2. p. 197-210, 2017.

SILVA, P. H. S.; CARNEIRO, J. S.; CASTRO, M. J. P. Manejo da mosca-branca-do-cajueiro com óleos vegetais. *Circular Téc.* N. 47, 2008.

PERES, W. A. A.; CORREIA-FERREIRA, B. S. Potencial do óleo de nim como inseticida vegetal no controle dos percevejos-praga da soja (Hemiptera: Pentatomidae). *Ver. Bras. Agroec*, v.1, n. 1. p.1651-1655, 2006.

PORTER, S. N.; HUMPHRIES, M. S.; BUAHHKWOFIE, A.; SCHILEYER, M. H. Accumulation of organochlorine pesticides in reef organisms from marginal coral reefs in South Africa and links with coastal groundwater. *Marine Pollution Bulletin*, v. 137, p. 295-305. 2018.

PRADO, M. J. S.; MORAIS, L. A. S. de.; PAZIANOTTO, R. A. A. Efeito deletério de óleos essenciais sobre *Anticarsia gemmatilis* e *Hilicoverpa armígera*. *Embrapa Meio Norte – Teresina- PI. Bol. Pesq.* N. 87, 25, 2019.

RANI, L.; THAPA, K.; KANOJIA, N.; SHARMA, N.; SINGH, S.; GREWAL, A. S.; SRIVASTAV, A. L.; KAUSHAL, J. An extensive review on the consequences of chemical pesticides on human health and environment. *Journal of cleaner production*, v. 283, p. 1-33, 2021.

RAUT, J. S.; KARUPPAYL, S. M. A. Status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*, v. 62, p. 250-264, 2014.

RIBEIRO, N. C. de; CAMARA, C. A. G. da; MELO, J. P. R. de; MORAIS, M. M. de. Insecticidal potential of citrus and mango essential oils and selected constituents on silverleaf whitefly. *Rev. Caatinga* 33(1), 2020, jan-mar.

RODRIGUES, D. N.; OLIVEIRA, J. A. S. dos. Óleos essenciais de *Piper L.* (Piperaceae) e sua aplicação biotecnológica na agricultura: uma revisão da literatura. *Arquivos Mudi*, v. 25, n. 2, p. 100, 2021.

SIDÔNIO, I. A. P. Avaliação do efeito letal da nanoemulsão de *Rosmarinus officinalis L.* sobre *Bactrocera carambolae* Drew 2017. Dissertação (Mestrado em Biodiversidade Te Hancock (Diptera: Tephritidae). Tropical) –Univ. Federal do Amapá, Macapá, 57p. 2017. Disponível em: <http://repositorio.unifap.br:80/jspui/handle/123456789/495>.

SILVA, M. A.; BEZERRA-SILVA, G. C. D.; VENDRAMIM, J. D.; FORIM, M. R. ; SA, I. C. G. Threshold concentration of limonoids (Azamax) for preventing infestation by mediterranean fruit fly (Diptera: Tephritidae). *Journal of Economic Entomology*, v. 108, p. 629-639, 2015.

SILVA, P. H. da.; CARNEIRO, J. da S.; CASTRO, M. de J. P. de. Manejo da mosca-branca-do-cajueiro com óleos vegetais. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2008, 5p. Circular Técnica 47.

SANTOS, A. A. Óleos essenciais e seus constituintes para o controle de *Cryptotermes brevis* e *Nasutitermes corniger*: vias de exposição e resposta comportamentais. Diss. Mest. Univ. Fed. Sergipe, S. Cristóvão, 2016, 57. Disponível: <<https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/3027/1/>>.

THACKER, J. R. M. An introduction to arthropod pest control. Cambridge University Press, 1^o edition, 380p, 2002.

VIZZOTO, M; KROLOW, A. C.; WEBER, G. E. B. Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância. Embrapa Clima Temperado. Pelotas, Doc.316, 2021.

CAPÍTULO 09

ESSENTIAL OILS ON THE CONTROL OF MELON LEAFMINER

Raimundo Braga Sobrinho

Ph.D em Entomologia pela Oklahoma State University - Stillwater, Oklahoma, USA
Instituição: Embrapa Agroindústria Tropical
Endereço: 2.270, Dra. Sara Mesquita, Planalto Pici, Fortaleza-Ceará, Brasil
E-mail: raimundo.braga@embrapa.br

Maria do Socorro Cavalcante de Sousa Mota

Mestre em Defesa Sanitária Vegetal pela Universidade Federal de Viçosa (UFV)
Instituição: Embrapa Agroindústria Tropical
Endereço: 2.270, Dra. Sara Mesquita, Planalto Pici, Fortaleza-Ceará, Brasil
E-mail: socorro.mota@embrapa.br

ABSTRACT: Studies on the effect of essential oils for the control of melon leaf miner adults (*Liriomyza trifolii* Burgess) and the phytotoxicity on melon plants (*Cucumis melo* L.) were carried out under green house and laboratory experiments with the aim to find the effectivity of essential oils to control this pest. Essential oils (treatments) used in the tests belonged to the following plant species: *Ocimum basilicum*, *Ocimum kilimandshanicum*, *Lippia alba*, *Ocimum gratissimum*, *Cymbopogon citratus*, *Ocimum micranthum*, *Lippia sidoides*, *Piper aduncum*, *Citrus sinensis*, *Ocimum selloi* and water as the control. In addition, two mixtures were evaluated: Mix 1 (*Ocimum selloi* + *Piper aduncum*) and Mix 2 (*Ocimum kilimandshanicum* + *Ocimum gratissimum*). Each essential oil evaluated had the following dilutions: 0.125%, 0.25%, 0.5%, 1.0%, 3.0%, 5.0%, 7.0%, and 10.0%. The dilution 0.125% of *Ocimum basilicum*, *Ocimum kilimandshanicum*, *Ocimum selloi*, *Cymbopogon citratus*, *Lippia alba*, *Piper aduncum* and Mix 2 presented the best results by not causing any phytotoxicity damage to melon leaves. The other dilutions were significantly different from the pattern water. As result, the essential oil of the species *Ocimum kilimandshanicum* with 0.125% caused 100.0% of mortality to melon leaf miner adults and it did not cause any phytotoxicity damage to melon leaves. Therefore, these results suggest that this essential oil presents a high potential to be a future commercially friendly product against melon leaf miner pest.

KEYWORDS: Damage; Mortality; Control; Dose; Evaluation.

RESUMO: Estudos sobre o efeito de óleos essenciais no controle de adultos da mosca-minadora do meloeiro (*Liriomyza trifolii* Burgess) e sua fitotoxicidade em folhas do meloeiro (*Cucumis melo* L.) foram desenvolvidos em casa de vegetação e laboratório com o objetivo de encontrar um óleo essencial que fosse efetivo no controle dessa praga. Os óleos essenciais usados (tratamentos) pertencem às seguintes espécies: *Ocimum basilicum*, *Ocimum kilimandshanicum*, *Lippia Alba*, *Ocimum gratissimum*, *Cymbopogon citratus*, *Ocimum micranthum*, *Lippia sidoides*, *Piper aduncum*, *Citrus sinensis*, *Ocimum selloi* e água como o controle. Foi também avaliado o efeito de duas misturas: Mix 1 (*Ocimum selloi* + *Piper aduncum*) e Mix 2 (*Ocimum kilimandshanicum* + *Ocimum gratissimum*). Cada óleo essencial foi avaliado seguindo as concentrações (diluições): 0,125%; 0,25%; 0,5%; 1,0%; 3,0%; 5,0%; 7,0%; e 10,0%. A concentração 0,125 de *Ocimum basilicum*, *Ocimum kilimandshanicum*,

Ocimu seloi, *Cimbopogon citratus*, *Lippia alba*, *Pipper aduncum* e Mix2 apresentaram os melhores resultados por não causarem danos às folhas do meloeiro. As outras concentrações foram significativamente diferentes do padrão água. Como resultado final, o óleo essencial da espécie, *Ocimum kilimandshanicum*, com 0,125 causou 100,0% de mortalidade em adultos da mosca-minadora do meloeiro. Portanto, estes resultados sugerem que este óleo essencial apresenta um alto potencial, após testes de campo, para ser um futuro produto natural contra a pragada mosca minadora do meloeiro.

PALAVRAS-CHAVE: Dano; Mortalidade; Controle; Dose; Avaliação.

1. INTRODUCTION

The melon leaf miner, *Liriomyza trifolii* Burgess, is a major pest of melon (*Cucumis melo* L), in northeast Brazil. This insect has been causing severe reductions in melon production and quality in the region. This species is considered highly aggressive, causing major losses in different plant species (MURPHY; LASALLE, 1999; BUENO *et al.*, 2007; CELIN *et al.*, 2017). In the last twenty years, this pest has been reducing melon production and quality and increasing the production cost in the semiarid growing areas of the states of Rio Grande do Norte and Ceará, Brazil, main melon producer and exporter states in Brazil (ARAUJO *et al.*, 2007; BRAGA SOBRINHO *et al.*, 2007; 2008; 2011).

The use of chemical pesticides has been the main alternative to control this pest. These pesticides result in a high cost-effective system of controlling pests and are highly toxic to other species in the environment. The environmental problems caused by overuse of pesticides have been always the matter of concern for scientists, public authorities, official agencies and consumers around the world (RAO *et al.*, 2003). The use of plant essential oils is other environmentally friendly control method. This alternative can be less toxic to humans, readily biodegradable, safer for the environment, suitable for use by small scale farmers, and yet capable of protecting crops from attack by wide range of insect pests (ROSENTHAL, 1986; Ma *et al.*, 2020). Several researchers have emphasized the importance of bioactive extracts from plants as a strategy for the control of agricultural pests. These products are usually composed by terpenoid, sesquiterpenes and detones (HIKAL *et al.*, 2017; COSTA *et al.*, 2018; IKBAL and PAVELA, 2019; KLEIN *et al.*, 2020; FOLKOWSKI *et al.*, 2020; ISMAN, 2020).

Plant essential oils are in general composed of complex mixtures of monoterpenes, biogenetically related phenols, sesquiterpenes, phenylpropanoids and metabolites that confer the mixtures with organoleptic characteristics of biological activities (ISMAN, 2006; STEFANELLO *et al.*, 2011). Essential oil is any volatile oil that has strong aromatic components with distinctive odor, flavor and scent. It is the by-product of plant metabolism and is well known as volatile plant secondary metabolism. They are a promising new class of ecological products for the management of pest insects (LOPES; PASCUAL VILLALOBOS, 2010; COSTA *et al.*, 2018). There are several examples of essential oils like *Cymbopogon citratus*, *Ocimum*

spp., *Mentha* spp., *Lippia alba* that have been proved to be efficient to control many agricultural pests (ZARIDAH *et al.*, 2003; KORDALI *et al.*, 2005; TRIPATHI *et al.*, 2009). Therefore, this study has the aim of testing different plant essential oils against the melon leaf miner pest and also, their phytotoxicity effects on melon leaves.

2. MATERIAL AND METHODS

All tests and procedures were undertaken in the Laboratory of Entomology and green house belonged to Embrapa Agroindustry Tropical Research Center - in Fortaleza, Ceará Brazil.

Melon seeds used in the tests were the hybrid SEMINIS (Goldmine)[®]. Melon seed was individually planted in tray cells. Melon seedlings were transplanted to plastic pots for posterior tests.

Plants for oil extraction were taken from the collection of aromatic plants of EMBRAPA. Essential oils were extracted in the Multiuse Laboratory of Chemistry Natural Products of EMBRAPA by using hydrodistillation method (MELECCHI, 2005; BARBOSA and BARBOSA, 2006). Essential oil dilutions were individually sprayed on melon plant leaves. The mixtures (Mix 1 and Mix 2) were also used to verify the synergistic effects against the melon leaf miner pest.

Data were subjected to statistical analysis using a completely random design. The experiments consisted of thirteen treatments (ten essential oils, mix 1, mix 2 and the control), eightoil dilutions for each treatment and four replicates. The significance of the results was performed using ANOVA and Turkey's test based on Stats Direct Statistical Software, version 2.2.7. Differences between treated and control were considered not statistically significant when $p > 0.05$. Probability levels are specified within the text and graphics/figures.

Essential oil/treatments used in the tests belonged to the following plant species: *Ocimum basilicum*, *Ocimum kilimandshanicum*, *Lippia alba*, *Ocimum gratissimum*, *Cymbopogon citratus*, *Ocimum micrantum*, *Lippia sidoides*, *Pipper aduncum*, *Citrus sinensis*, *Ocimum selloi* and water as the control. The effect of two mixtures was also evaluated: Mix 1 (*Ocimum selloi* + *Pipper aduncum*) e Mix 2 (*Ocimum kilimandshanicum* + *Ocimum gratissimum*). Each essential oil above was tested following the concentrations (dilutions): 0.125%, 0.25%, 0.5%, 1.0%, 3.0%, 5.0%, 7.0%, and 10.0%.

Phytotoxicity effects of essential oils on melon leaves

The first step of the work was to test each essential oil in order to know the phytotoxicity effect on melon leaves. Therefore, the objective of these tests was to know the limit of the dilution that cause zero fit toxicity effect on melon leaves. A visual damage scale based on values from zero to three was established based on Braga Sobrinho *et al.*, 2012 as shown below.

Table 1. Scale for evaluation of phytotoxicity damage on melon leaves by different dilutions of essential plant oils.

Degree	Percentage of damage on melon leaves
00 - A	Without symptoms - No damage or yellow spot
01 - B	1 to 10% of yellow spot and burn on leaf edges
02 - C	11 to 50% of severe yellow spots and burn on leaf edges
03 - D	51 to 100% of severe yellow spots and burn on leaf edges

This test was carried out at screen green house. For each essential oil (treatment) were used eight dilutions. All treatments had a replicate of four plants with age of 20 days. The dilution was sprayed on each plant, as shown in Figure 1. The symptoms on leaves were observed one, two and three day after the application. The plants were examined, evaluated and accounted for leaf damage and plant death (Figure 2 - A, B, C and D), based on the scale presented above (Table 1). Dilutions that did not caused any damage to leaves (grade zero - A) were selected for the tests on the effects on leaf miner adults.

Figure 1 – Demonstration of essential oil application on melon plants



Figure 2 – Evaluation of plants with phytotoxicity symptoms based on the degree of damage/scale from 0.0 (A), B (1,0), C (2,0), D (3,0)



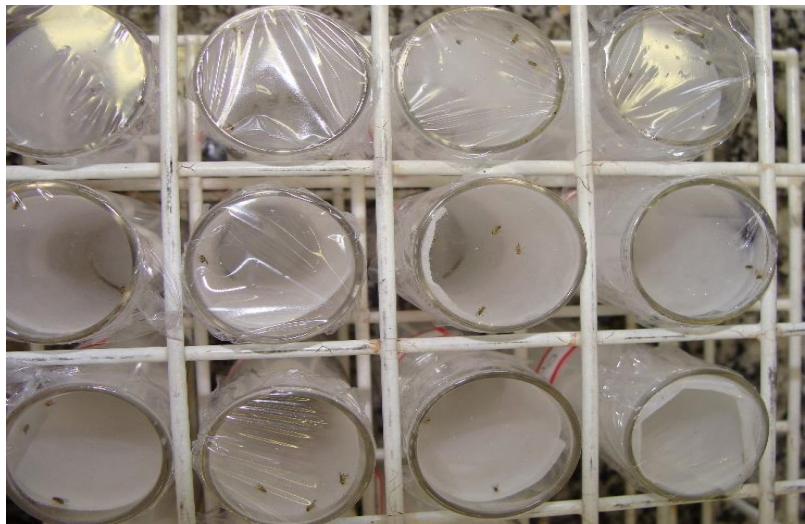
Effects of essential oils on melon leaf miner

This test was carried out with the objective to evaluate the effect of several dilutions of essential oils on adults of leaf miner under laboratory experiments. Only essential oil dilutions that did not cause any phytotoxicity effect on melon leaves were selected in these tests.

Leaf miner adults used in these tests came from a colony maintained in the Laboratory of Entomology of Embrapa Tropical Agroindustry Research Center in Fortaleza (ARAÚJO *et al.*, 2007b; BRAGA SOBRINHO *et al.*, 2011). Glass tubes with 10.0 cm long and 2.0 cm of diameter were used for this experiment. Each glass tube internally coated with a filter paper in order to absorb the essential oil. On each filter paper was sprayed 0.5 ml of the treatment (oil dilution). Afterward, five leaf miner adults of the same age were released into the glass tube. For each essential oil dilution was used five replicates (glass tube) with 5 melon leaf miner adults. The top of the tube sealed with a fine plastic film full of several pin holes for oxygen exchange (Figure 3). The evaluations were performed after one hour, two hours and four hours after the introduction of insects into the glass tube. Dead and alive insects were counted and

registered during the observation period.

Figure 3 – Glass tubes impregnated with essential oil dilution and infested with five melon leaf miner adults.

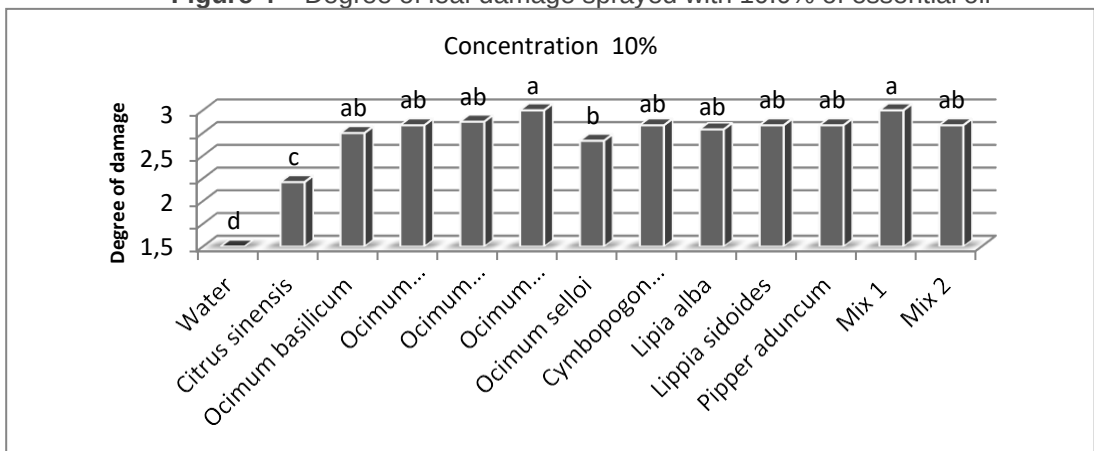


3. RESULTS AND DISCUSSION

Phytotoxicity tests on melon leaves

The results in Figure 01 infer that twelve treatments with 10.0% of concentration of each essential oil caused median to severe damages on melon leaves. For eleven treatments the degree of severity was two (C), which means high level of damages on melon leaves. Only the *Citrus sinensis*, had a degree of damage on leaves above one (B) considered very low damage.

Figure 4 – Degree of leaf damage sprayed with 10.0% of essential oil



Other essential oils dilutions shown in Figures 5, 6 e 7 presented also high damage to melon leaves indicating that these essential oils under dilution of 7.0, 5.0 and 3.0% caused severe phytotoxicity effects to melon leaves. The essential oil *Ocimum micranthum* with 10.0%, 7.0, and 5.0% of dilution caused the highest damages to leaves. Comunale (2010) found similar results by using essential oils extracted from *Cymbopogon citratus*, *Ocimum gratissimum*, *Ocimum micranthum*, *Piper aduncum*, *Lippia sidoides* and *Ocimum seloi* on melon plants.

Figure 5 - Degree of damage on melon leaves sprayed with 7.0% of essential oil

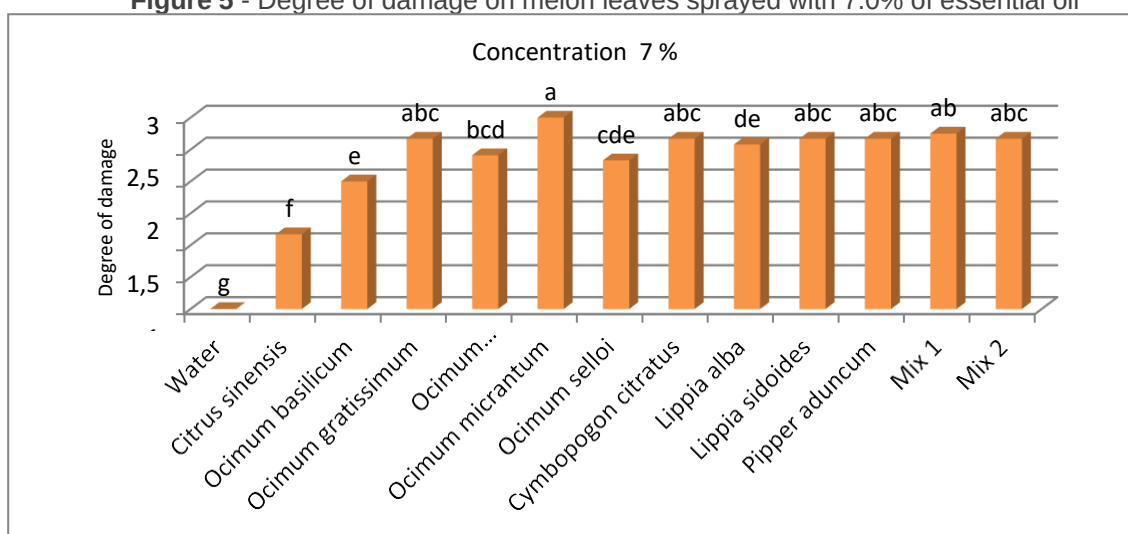
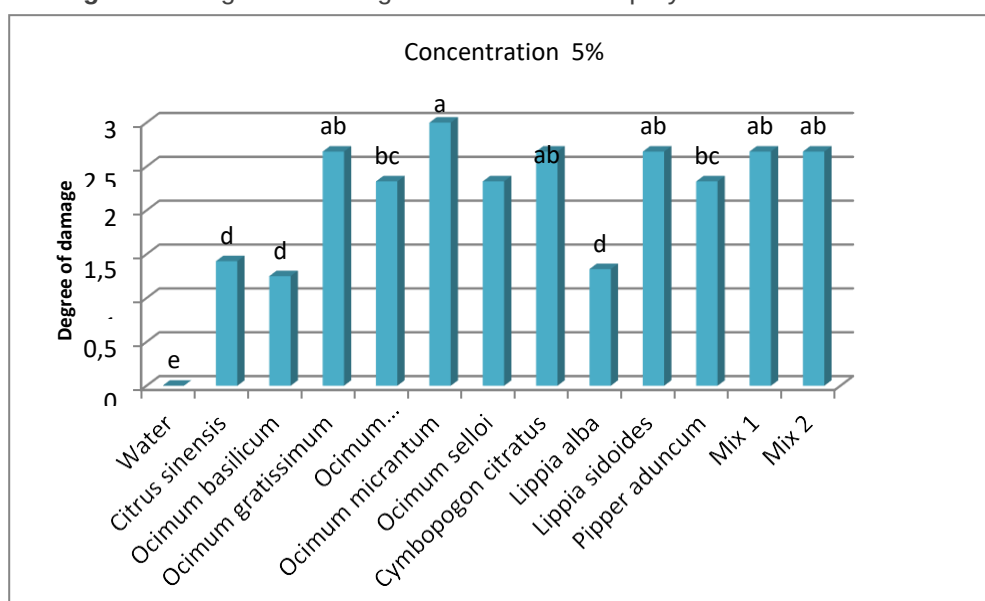


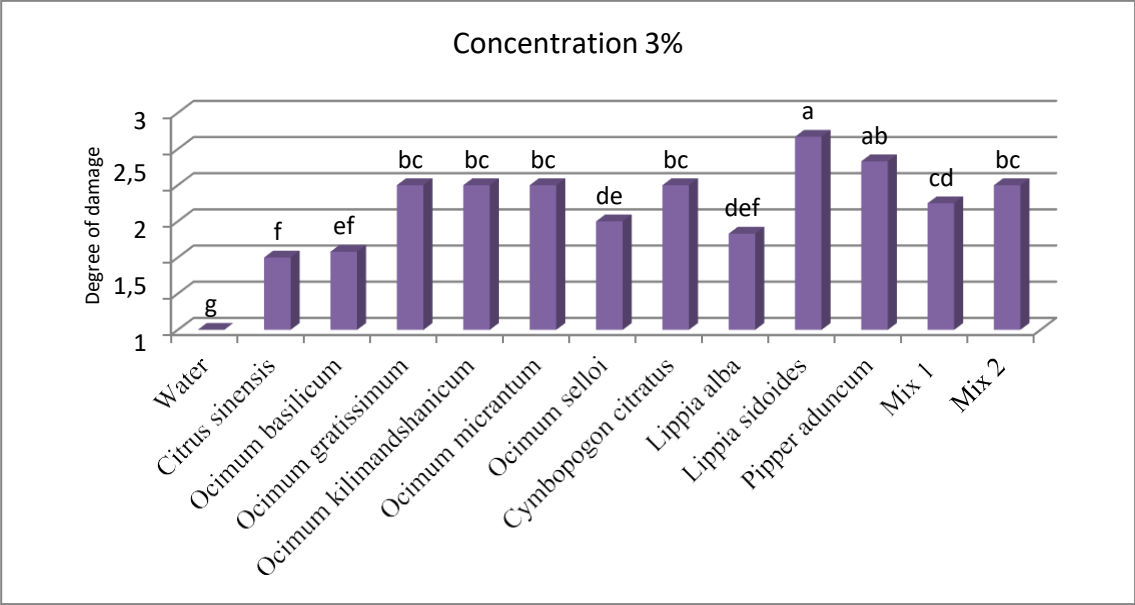
Figure 6 - Degree of damage on melon leaves sprayed with 5.0% of essential oil



Tests with essential oils extracted from the species *Lippia sidoides* and *Piper aduncum* with 3.0% of dilution (Figure 7) presented a high significant degree of

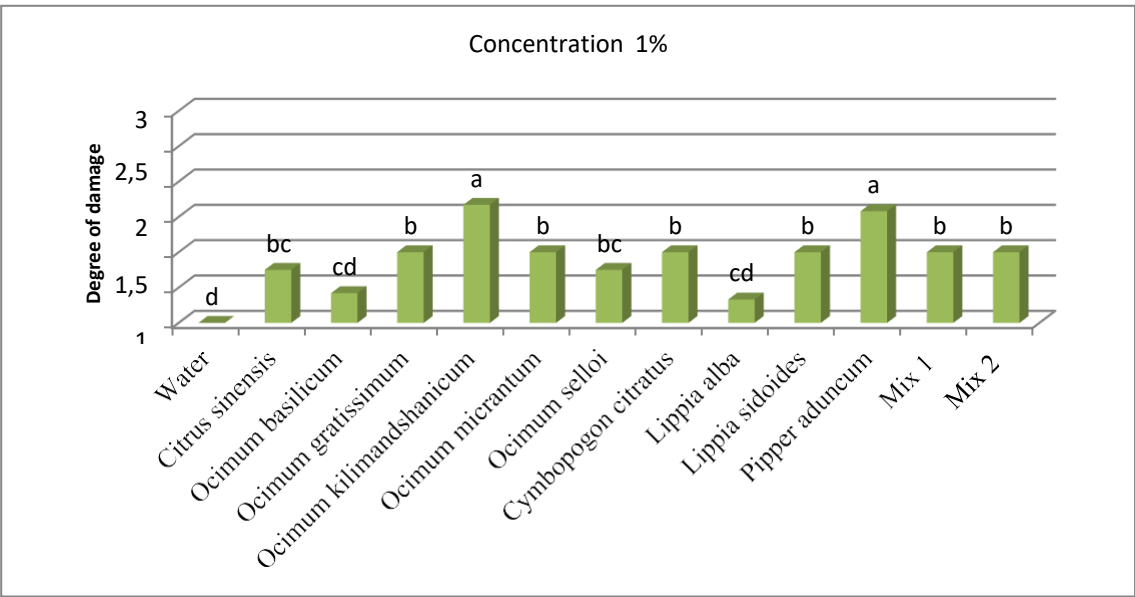
damage to melon leaves when compared to other species.

Figure 7 - Degree of damage on melon leaves sprayed with 3.0% of essential oil



The essential oil with a concentration of 1.0% extracted from species *Ocimum kilimandshanicum* and *Piper aduncum* presented significantly high the degree of severity by causing damages on melon leaves. Only the treatments *Ocimum basilicum* and e *Lippia alba* were not significantly different ($p \geq 0.05$) from the treatment water, Figure 8.

Figure 8 - Degree of damage on melon leaves sprayed with 1.0% of essential oil



Concentrations of essential oils ranging from 0.5 to 0.25 also presented

damage to melon leaves. Only four treatments with 0.5% concentration, *Ocimum basilicum*, *O. seloi*, *L. alba* and Mix2 were not significantly different from the pattern water (Figure 9). On the other hand, essential oils with concentration 0.25% of *O. micranthum*, *L. sidoides* and Mix 1 presented significant level of damage when compared to pattern water (Figure 10).

Figure 9 - Degree of damage on melon leaves sprayed with 0.5% of essential oil

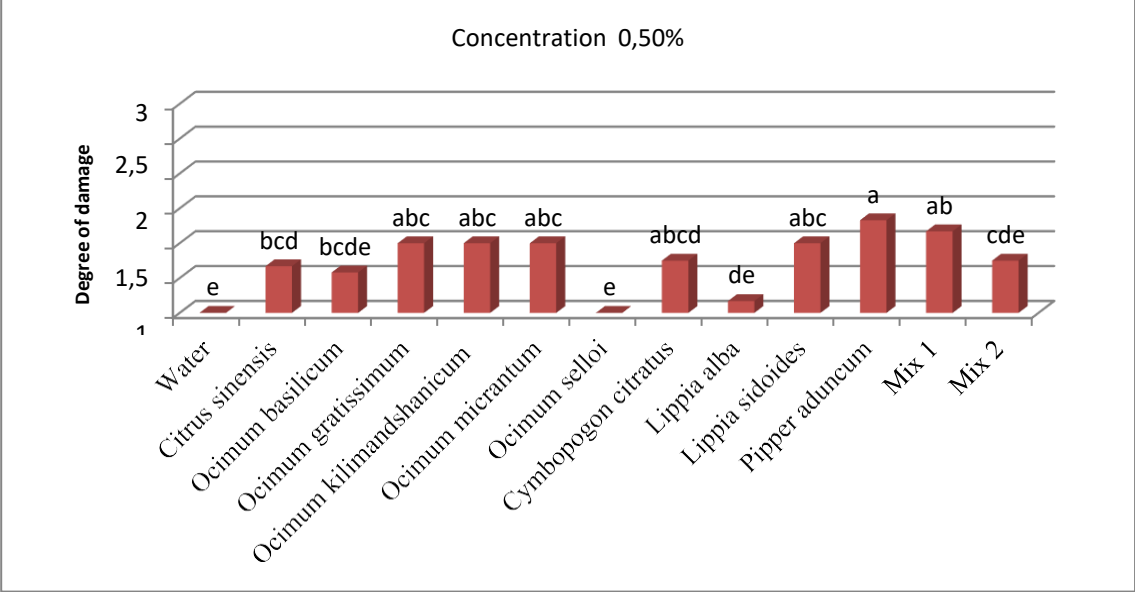
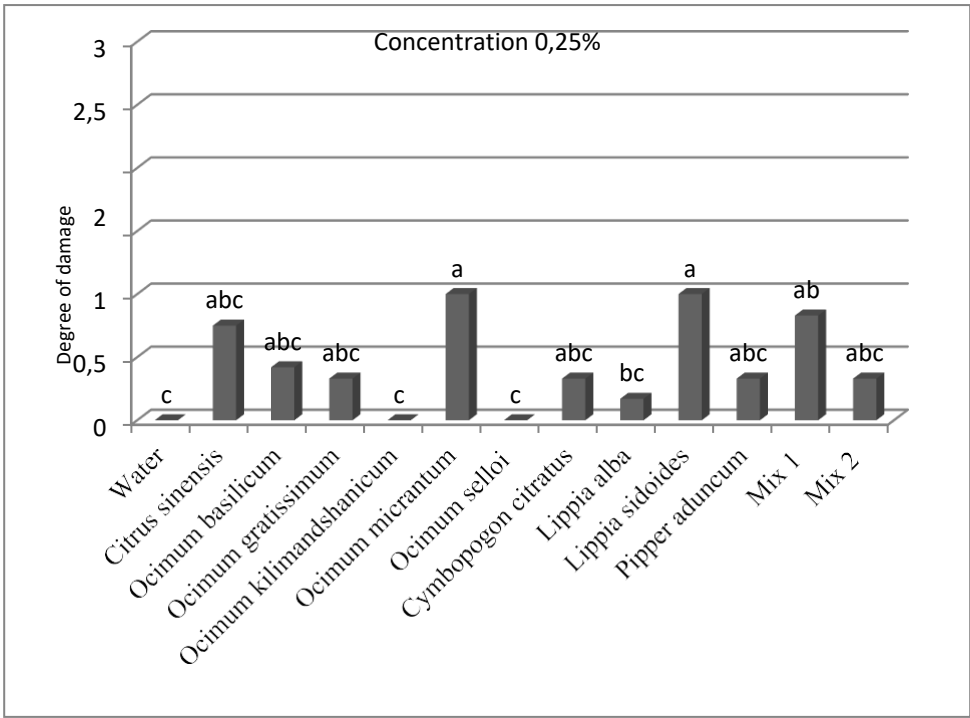


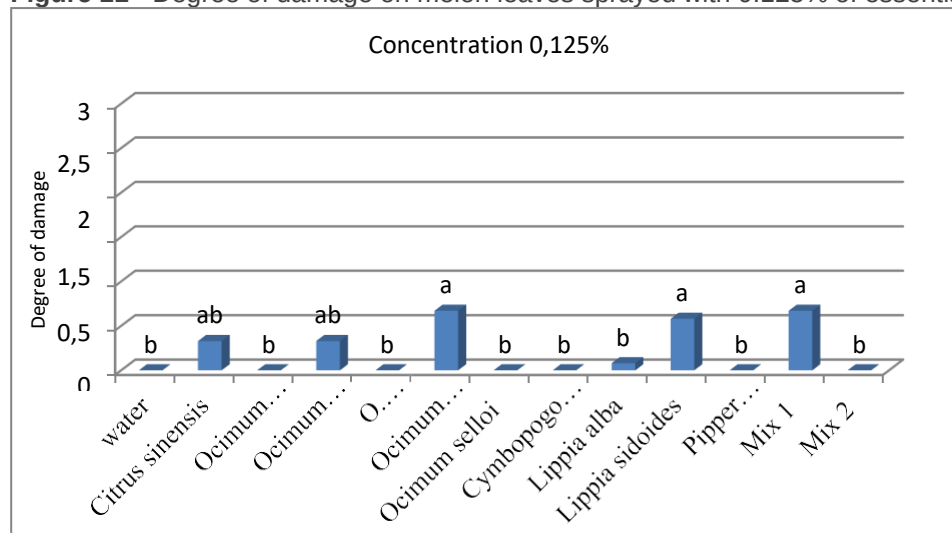
Figure 10 - Degree of severity on melon leaves sprayed with 0.25% of essential oil



The lowest concentration 0,125% (Figure 11) presented only three treatments O.

micrantum, *L. sidoides* and Mix 1 (*O. selloi* + *P. aduncum*) with small degree of damage to leaves, being significantly different from the treatment *water*.

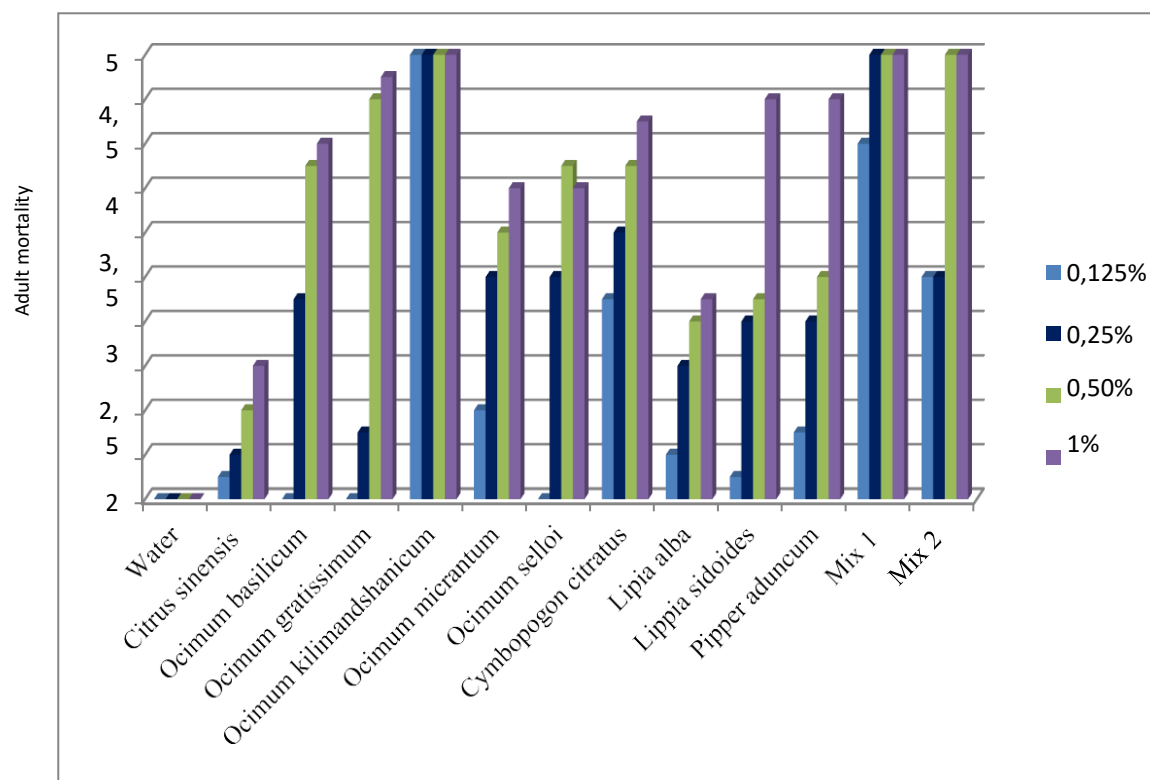
Figure 11 - Degree of damage on melon leaves sprayed with 0.125% of essential oil.



Toxicity tests against melon leaf miner pest

Based on phytotoxicity tests discussed above, essential oil dilutions that did not cause any damage to melon leaves were selected for the essays against melon leaf miner pest. Therefore, the dilutions selected were 1.0%, 0.5%, 0.25% and 0.125%. According to the methodology, these concentrations were sprayed against adults of melon leaf miner. The essential oils extracted from the species *Ocimum kilimandshanicum* with 0.125% caused 100.0% of mortality in adults of melon leaf miner, Figure 12. Other results obtained by Lima et al., 2012, working with essential oil from leaves of *Eugenia sulcata* with a a dilution of 500mg/ml sprayed against *Oncopeltus fasciatus* and *Dysdercus peruvianus* shown 100% of adult mortality. From the results shown in Figure 12, seemsthat the expected synergistic effect of Mix 1 and Mix 2 did occur with very important results. The Mix 1 with a dilution of 0,125 caused an adult mortality around 76.0%, but the other dilutions 0.25;0.50; and 1.0% caused a 100.0% of mortality. On the other hand, Mix 2, with dilutions 0.125 and 0.25 caused low adult mortality of 47.0%, but the other dilutions caused 100.0% of adult mortality (Figure 12).

Figure 12 – Number of death of leaf miner adults under four essential oil dilutions



Previous works about effect of the essential oil from *Eugenia sulcata* leaves on *Dysdercus peruvianus* indicated that its chemical components are promising candidates for insecticidal activity studies and for ecological control against pest populations in agriculture. The current view of the mode of action of plant metabolites is still rather linear, where as in reality, it is likely that there are many compounds present in the oil and the mechanisms involved may forming a network in which pathway molecules interact in a flexible and dynamic way (RATTAN, 2010; GARCIA *et al.*, 2012; FERNANDES *et al.*, 2013; ISMAN, 2017; 2020).

It is well known that conventional pesticides can cause severe effects on the environment and harmful problem on human health. For this reason, there is a worldwide growing interest in botanical insecticides, like essential oils, due to their minimal costs and lack of ecological side effects, which make them desirable alternatives to synthetic chemical insecticides for controlling insect pests. The use of these alternatives are best suited for use in organic food production in industrialized countries and also can play a much greater role in developing countries like Brazil as a new class of ecofriendly products for pests (KHATER, 2012). Some essential oils have specific modes of action that make them good synergists. Terpenes, for example, present in some essential oils are neurotoxic to insects (ENAN, 2005; REGNAULT-ROGER, 1997).

The results of the synergistic effect of Mix 1 (*Ocimum selloi* + *Pipiper aduncum*) did occur 100% of mortality for three dilutions (1.0; 0.5; 0.25) but not for 0.125% one. However, for Mix 2 (*Ocimum kilimandshanicum* + *Ocimum gratissimum*) presented high degree of synergistic effect for dilutions 1.0% and 0.5% (100% of adult mortality), but not for the dilutions 0.125% and 0.25% which caused only about 50.0% of mortality on adults of melon leaf miner, Figure 12, Considering the threshold level for melon leaf miner adult recommended by Integrated Pest Management sampling method (BRAGA SOBRINHO *et al.*, 2007) is 10.0%; the essential oil dilution *Ocimum kilimandshanicum* with 0.125 of dilution did not cause any damage to melon leaves; and with this dilution, it resulted in a 100.0% of adult mortality. Therefore, this find suggests that this essential oil fulfilled the requirements for other future tests under field experiments. This also indicates that this essential oil has a great potential to be a commercial product for the control of melon leafminer pest.

4. CONCLUSIONS

The results of this work indicate that essential oil extracts from plants are promising candidates for insecticidal activity studies and for ecological control use of plague insect populations in agriculture.

An important and valuable task, before to start testing any essential oil against a pest, is to screen each essential oil and its dilution to verify what percentage of dilution causes phytotoxicity damage on leaves of the plant. In this work was found that for the dilution 0.5% only the essential oil *Ocimum selloi* did not cause damage to melon leaves. For dilution 0.25%, *Ocimum kilimandshanicum*, *O. seloi* and *Lippia alba* did not damage to melon leaves. However, the dilution 0.125% of *Ocimum basilicum*, *Ocimum kilimandshanicum*, *Ocimum seloi*, *Cimbopogon citratus*, *Lippia alba*, *Peper aduncum* and Mix 2 (*Ocimum kilimandshanicum* + *Ocimum gratissimum*) presented the best results by not causing any damage on melon leaves. The other concentrations were significantly different from the pattern water.

As final results, the essential oil of the species *Osmium kilimandshanicum* with 0.125% caused 100.0% of mortality of melon leaf miner adults and also, did not cause any damage to melon leaves. Therefore, this result suggests that this essential oil presents a high potential to be a future commercial friendly product against melon leaf miner pest.

REFERENCES

- ARAUJO, E. L.; FERNANDES, D. R. R.; GEREMIAS, L. D.; MENEZES NETO, A. C.; FILGUEIRA, M. A. Mosca minadora associada à cultura do meloeiro no semiárido do Rio Grandedo Norte. **Revista Caatinga**, v.20, n.3, p.210-212, 2007.
- ARAUJO, E. L.; PINHEIRO, S. A. M.; GEREMIAS, L. D.; MENEZES NETO A. E; MENEZES NETO, C.; MACEDO, L. P M. Técnica de criação da mosca minadora *Liriomyza trifolii* (Burgess)(Diptera: **Agromyzidae**). **Campo Digital**, v.2, n.1, p.22-26, 2007b
- BARBOSA, F. F.; BARBOSA, L. C. A. Influência da temperatura do ar de secagem sobre o teor ea composição química do óleo essencial de *Lippia alba* (Mill.) N, E. Brown. *Química Nova*, São Paulo, v. 29, n. 6, p. 1221-1225, nov./dez. 2006.
- BRAGA SOBRINHO, R.; MESQUITA, A. L. M.; ARAUJO, K. L. B. de; MOTA, M. C. S.; PIMENTEL, F. A.; GUIMARÃES, J. A.; DIAS, N. SILVA, da. Avaliação de phytotoxicidade de óleos essenciais de plantas ao meloeiro. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Bol. Pesquisa71, 2p, 2012.
- BRAGA SOBRINHO, R.; DIAS, N. S.; MESQUITA, A. L. M.; MOTA, M. S. C. S. de; ARAÚJO, K. L. B. de. Técnica de criação da mosca-minadora do meloeiro. Embrapa Agroindústria Tropical.Fortaleza, Com. Técnico 177, 5p, 2011.
- BRAGA SOBRINHO, R.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J. A. D.; TERAQ, D. Produção Integrada de Melão. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 336p, 2008.
- BRAGA SOBRINHO, R.; GUIMARÃES, E. L.; ASSIS, J. S. de; MOREIRA, M. A. B.; MACEDO, L. P. M.; MESQUITA, A. L. M. Monitoramento de Pragas na Produção Integrada do Meloeiro. Embrapa Agroindústria Tropical, Documento 69, 22p. 2007.
- BUENO, A. F. ZECHMAN, B.; HOBACK, W. W.; BUENO, R. C. O. F. FERNANDES, O. A. Serpentine leaf miner (*Liriomyza trifolii*) on potato (*Solanum tuberosum*): field observations and plant photosynthetic responses to injury. **Ciência Rural**, v.37, n.6, p.1510-1517, 2007.
- CELIN EF, OLIVEIRA FIC, DIAS-PINI NS, NUNES GHS & ARAGÃO FAZ. New sources of resistance to leafminers (*Liriomyza sativae*) in melon (*Cucumis melo* L.) germoplasm. *Genet. Mol.Bio.* 16: 1-12. 2017
- COMUNALE, A. C. Fitotoxicidade de óleos essenciais em meloeiro. Fortaleza: UFC, 23-26p. 2010.
- COSTA, E. M.; SILVA, F. E. L.; ARAÚJO, E. L. Effect of aqueous neen seed extract via irrigationon larva of *Liriomyza sativae* in melon crop. *Horticultura Brasileira*, v. 36, n.3, p. 353-356. 2018.
- ENAN, E.E. Molecular and pharmacological analysis of an octopamine receptor from American cockroach and fruit fly in response to plant essential oils. *Arch. Insect.*

Biochem. Physiol. 59,161- 171, 2005.

FERNANDES, C. P., XAVIER, A., PACHECO, J. P. F., SANTOS, M. G., MEXAS, R., RATCLIFFE, N. A., GONZALES, M. S., MELLO, C. B., ROCHA, L., FEDER, D. Laboratory evaluation of the effects of *Manilkara subsericea* (Mart.) Dubard extracts and triterpenes on the development of *Dysdercus peruvianus* and *Oncopeltus fasciatus*. Pest. Manag. Sci. 69,292-301, 2013.

GARCIA, E. S.; CASTRO, D.P.; MARCELA, B.; FIGUEIRE, M.B.; GONZALEZ, M. S.; AZAMBUJA, P. O sistema neuroendócrino de insetos, in Tópicos Avançados em Entomologia Molecular. [Online]. INCT-Molecular Entomology, Ch. 10, p. 24, 2012.

HIKAL, W. M.; BAESHEN, R. S.; SAID-AL AHL, H. A. Botanical insecticide as simple extractives for pest control. Cogent Biol., 3, n. 1404274. 2017.

IKBAL, C.; PAVELA, R. Essential oils as active ingredients of botanical insecticides against aphids. J. Pestic. Sci. p. 1-16, 2019.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides, deterrents, and repellent in modern agriculture and an increasingly regulated world. Ann. Rev. Entomol. 51,45-66, 2006.

ISMAN, M. B. Bridging the gap: moving botanical insecticides from the laboratory to the farm. Ind. Crop., 110, p. 10-14. 2017.

ISMAN, M. B. Botanical insecticides in the twenty-first century—fulfilling their promise? Annu. Rev. Entomol., 65, pp. 233-249. 2020.

KHATER, H. F. Prospects of botanical bio pesticides in insect pest management. Pharmacologia 3,641-656, 2013.

KORDALI, S.; CAKIR, A.; MAVI, A.; ILIC, H. YILDIRIM, A. Screening of chemical composition and antifungal and antioxidant activities of the essential oils from three Turkish *Artemisia* species. J. Agric. Food. Chem. 53. 1408-1416, 2005.

LIMA, B. G., TIETBOHL, L. A. C., FERNANDES, C. P., CRUZ, R. A. S., BOTAS, G. S., SANTOS, M. G., SILVA-FILHO, M. V., ROCHA, L. M. Chemical composition of essential oils and anticholinesterasic activity of *Eugenia sulcata* Spring ex Mart. Lat. Am. J. Pharm. 31,152-155,2012.

LOPEZ, M. D., PASCUAL-VILLALOBOS, M. J. Mode of inhibition of acetyl cholinesterase by monoterpenoids and implications for pest control. Ind. Crop. Prod. 31,284-288, 2010.

Ma, S.; JIA, R.; GUO, M.; QUIN, K.; ZHANG, L. Insecticidal activity of essential oil from *Cephalotaxus sinensis* and its main components against various agricultural pests. Industrial Crops and Products. 150, 112403. 2020.

MELECCHI, M. I. S. Caracterização Química de extratos de *Hibiscus tiliaceus* L: Estudo comparativo de métodos de extração. Porto Alegre, 192 p. 2005. Tese

(Doutorado em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MURPHY, S. T.; LASALLE, J. Balancing biological control strategies in the IPM of new world invasive *Liriomyza* leaf miners in field vegetable crops. **Bio control News and Information**, v.20,n.3, 1999.

RAO, J. V., SHILPANJALI, D., KAVITHA, P., MADHAVENDRA, S.S. Toxic effects of profenofos on tissue acetylcholinesterase and gill morphology in a euryhaline fish, *Oreochromis mossambicus*. Arch. Toxicol. 77,227-232, 2003.

RATTAN, R. S. Mechanism of action of insecticidal secondary metabolites of plant origin. Crop. Prot. 29,913-920, 2010

REGNAULT-ROGER, C. The potential of botanical essential oils for insect pest control. Integrated Pest Manag. Rev. 2 - 25-34, 1997.

ROSENTHAL, G. A. The chemical defense of higher plants. Sci. Am. 254,94-99, 1986. STEFANELLO, M. E. A., PASCOAL, A. C. R. F., SALVADOR, M. J. Essential oils from neotropical Myrtaceae: chemical diversity and biological properties. Chem. Biodivers. 8,73-94,2011.

TRIPATHI, A. K.; UPADHYAY, S.; BHUIYAR, M.; BHAFACHRYA, P. R. A review on prospects of essential oils as bio pesticide in insect-pest management. Jour. of Pharmacognosy andPhytotherapy, vol. 1(5), pp. 052-053, Nov. 2009.

ZARIDAH, M. Z.; NOR AZAH, M. A.; ABU SAID, A.; MOLD FARIDZ, Z. P. Larvicidal properties of *Citronela* and *Cymbopogon nardus* essential oils from two different localities. Trop.Biomed. 20, 169-170, 2003.

CAPÍTULO 10

UMA PROPOSTA PARA O DESENVOLVIMENTO DE ROBÔS MODULARES

Anselmo Rafael Cukla

Universidade Federal de Santa Maria

Endereço: Av. Roraima, 1000 Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria/RS,
CEP: 97105-900, Brasil

E-mail: anselmo.cukla@ufsm.br

Rafael Crespo Izquierdo

Universidade do Vale do Taquari

Endereço: Av. Avelino Talini, 171 - Bairro Universitário Lajeado/RS, CEP: 95914-014, Brasil

E-mail: rcrespo9@hotmail.com

Eduardo André Perondi

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Rua Sarmento Leite, 425, CEP: 90050-170, Porto Alegre - RS, Brasil

E-mail: eduardo.perondi@ufrgs.br

Flavio José Lorini

Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Endereço: Rua Sarmento Leite, 425, CEP: 90050-170, Porto Alegre - RS, Brasil

E-mail: lorini@ufrgs.br

José Barata

UNINOVA, Faculdade de Ciências e Tecnologia

Endereço: Quinta da Torre, CP: 2829-516, Caparica, Portugal

E-mail: jab@uninova.pt

RESUMO: Um Sistema flexível de manufatura é definido como um sistema que apresenta a capacidade de reagir a mudanças esperadas ou inesperadas de um processo de fabricação. Atualmente, uma das opções para implementar um sistema de manufatura flexível, consiste na utilização de tecnologias avançadas que forneçam maior flexibilidade, menor custo e capacidade de reutilização. Neste contexto, os robôs modulares (baseados em módulos mecatrônicos) podem ser uma alternativa em relação aos manipuladores convencionais, pois apresentam uma estrutura cinemática variável, sendo adaptáveis às mudanças provenientes das linhas de produção, os quais tornam-se econômicos para implementações industriais. Neste trabalho, levando-se em conta as características de flexibilidade dos robôs modulares, é apresentada uma proposta para o projeto e desenvolvimento de módulos mecatrônicos na montagem de diferentes arquiteturas robóticas. Assim, considerando sistemas modulares com acionamento pneumático, propõe-se o uso de módulos mecatrônicos flexíveis e de rápida configuração na formação de sistemas robóticos. A metodologia proposta é conceitualmente proposta como: caracterizar os módulos mecatrônicos na montagem de robôs modulares; especificar as características mecânicas e elétricas de um módulo mecatrônico; descrever o funcionamento do Sistema MultiAgente no gerenciamento de um robô modular; e, por fim, detalhar as

tarefas necessárias (algoritmos de controle e planejamento de trajetória) para movimentação de robôs modulares. Os resultados mostram que os robôs modulares baseados em agentes mecatrônicos são sistemas viáveis na utilização em chão de fábrica ou linhas de produção dinâmicas.

PALAVRAS-CHAVE: Robôs Modulares; Módulos Mecatrônicos; Sistemas De Acionamento Pneumático; Sistemas Multi-Agentes.

1. INTRODUÇÃO

No últimos anos, devido ao aquecimento da economia mundial após a crise financeira no ano de 2009, a robótica é uma das áreas de pesquisa que mais têm apresentado crescimento, retomando-se a tendência no aumento constante da demanda por robôs manipuladores industriais (World Robotics, 2016).

Conceitualmente, os robôs modulares são constituídos por novos tipos de sistemas de controle dedicados, os quais possibilitam incorporar diferentes e novas funcionalidades através da integração de seus componentes físicos e lógicos (Atta-Konadu *et al.*, 2005). Além disso, estes robôs são formados por módulos mecatrônicos, e apresentam alto grau de escalabilidade e flexibilidade, possibilitando, assim, a formação de diferentes configurações cinemáticas de acordo a aplicação do usuário (Atta-Konadu, 2006; Larizza *et al.*, 2006). Na sua estrutura, os módulos mecatrônicos incorporam como componentes, uma unidade de acionamento eletromecânico, uma unidade eletrônica de comunicação (associada a um software de controle) e uma unidade mecânica de acionamento (Cavalcante, 2012).

Os sistemas modulares surgiram a partir do conceito de linhas de manufatura reconfiguráveis, os quais vêm sendo utilizadas desde a década de 90 (Koren *et al.*, 2003). Nesta perspectiva, visando aplicações robóticas em sistemas distribuídos, Atta-Konadu (2006), propõe o uso de robôs reconfiguráveis com base na utilização de módulos lógicos baseados em FPGA (Field Programmable Gate Array), que permitem interações entre cada módulo. Em Larizza *et al.* (2006), estuda-se a formação de robôs formados a partir da utilização de módulos mecatrônicos, propondo-se um sistema de controle distribuído com uma rede de comunicação em tempo real, a fim de formar cadeias cinemáticas do tipo série e/ou paralelo. Entre os estudos que contribuíram na padronização e produção de montagem de sistemas modulares, pode-se citar estudos na área de sistemas flexíveis baseados em Sistemas

MultiAgentes (Farid e Ribeiro, 2015) e em estratégias de otimização para o trabalho em conjunto destes módulos mecatrônicos, aplicados em linhas de produção (Rocha *et al.*, 2014, 2015).

Os módulos mecatrônicos, na concepção de robôs manipuladores, realizam operações de controle, interação com o meio (leitura de sensores e atuação) e comunicação com outros módulos do robô. Quanto ao acionamento, estes sistemas, na maioria de suas aplicações, podem ser do tipo elétrico, hidráulico ou pneumático. No presente trabalho, assume-se que os sistemas modulares se caracterizam por atuarem com acionamento pneumático, os quais, além de não serem poluentes, apresentam características tais como baixo custo, fácil utilização e boa relação peso/potência, de forma que os mesmos se tornam atrativos para diversas aplicações, inclusive na área de robótica. No entanto, as não linearidades presentes neste tipo de dispositivo dificultam aplicações onde alta precisão de posicionamento é necessária, resultando na necessidade, ainda atual, de investimentos na área de pesquisa sobre controladores para esses tipos de sistema (Perondi, 2002; Sarmanho, 2014; Sobczyk, 2009).

Na literatura sobre robôs modulares, apesar de existirem linhas de pesquisa que tratem especificamente de sistemas modulares e as interações entre os módulos mecatrônicos (Atta-Konadu, 2006; Farid e Ribeiro, 2015; Larizza *et al.*, 2006), observa-se que são escassas as pesquisas que abordam o uso de Sistemas MultiAgentes na robótica. Dentre os trabalhos que aplicam o Sistema MultiAgentes pode-se citar (Barata e Camarinha-Matos, 2002; Cavalcante, 2012; Farid e Ribeiro, 2015; Ribeiro e Barata, 2011; Rocha *et al.*, 2014).

Nesse sentido, o presente trabalho objetiva apresentar uma proposta relativa aos aspectos funcionais e construtivos de um robô manipulador (pneumático) baseados em Módulos Mecatrônicos. Para tanto, assume-se que o robô é constituído por uma estrutura modular, de forma que seus elos possam ser intercambiáveis. A fim de demonstrar o funcionamento deste sistema, propõe-se seguinte metodologia: 1) descrição das unidades mecatrônicas, apresentando os aspectos mecânicos e elétricos necessários para o funcionamento deste sistema; 2) definição dos algoritmos de gerenciamento de robôs modulares; e 3) descrever as etapas necessárias para a execução de uma tarefa, como, neste caso, o planejamento de trajetória. Nesta abordagem, quanto à funcionalidade destes sistemas, define-se que são estruturas reconfiguráveis, ou seja, um robô cartesiano pode ser transformado em um robô

esférico, entre outras configurações cinemáticas. Desse modo, uma vez definida a configuração desejada do manipulador, o Sistema MultiAgente realiza o gerenciamento e as configurações deste sistema, de forma que cada módulo mecatrônico fornece as suas características (tipo de acionamento, sua localização, entre outras). Por fim, como estudo de caso, apresenta-se um robô modular cartesiano, onde o Sistema MultiAgente realiza o gerenciamento e planejamento de uma trajetória definida pelo usuário.

2. MÓDULOS MECATRÔNICOS

Para a junção modular de um sistema mecânico de uso industrial, existem alguns requisitos que são importantes para o seu funcionamento, como, por exemplo, a homogeneidade, o controle distribuído e a reconfiguração dinâmica. Nesse sentido, os robôs modulares são definidos como sistemas que apresentam a capacidade de alterar sua forma geométrica e funcionalidades, utilizando sempre os mesmos módulos mecatrônicos (Farid e Ribeiro, 2015; Guttman, 2001; Larizza *et al.*, 2006).

Um módulo é caracterizado como um bloco construído com interfaces bem definidas que pode ser reutilizável e configurável facilmente, tratando-se de um elemento, uma unidade, uma estação de trabalho, uma célula produtiva ou uma linha de produção (Barata e Camarinha-Matos, 2002). Autores como (Cavalcante, 2012; Ferreira *et al.*, 2012; Ribeiro *et al.*, 2011), entre outros, explicam que, de maneira análoga aos módulos convencionais, existem os módulos mecatrônicos, que consistem em unidades formadas por partes mecânicas, eletroeletrônicas e de comunicação de software integrados, com capacidade de percepção (sensores) e de atuação (atuadores) (Cavalcante, 2012). Segundo Gotz (2007), os módulos mecatrônicos definem-se por componentes que, quando conectados em diferentes configurações, são capazes de formar um sistema mecânico com maiores funcionalidades como, por exemplo, um robô manipulador industrial (robô antropomorfo, cilíndrico, cartesiano, etc.).

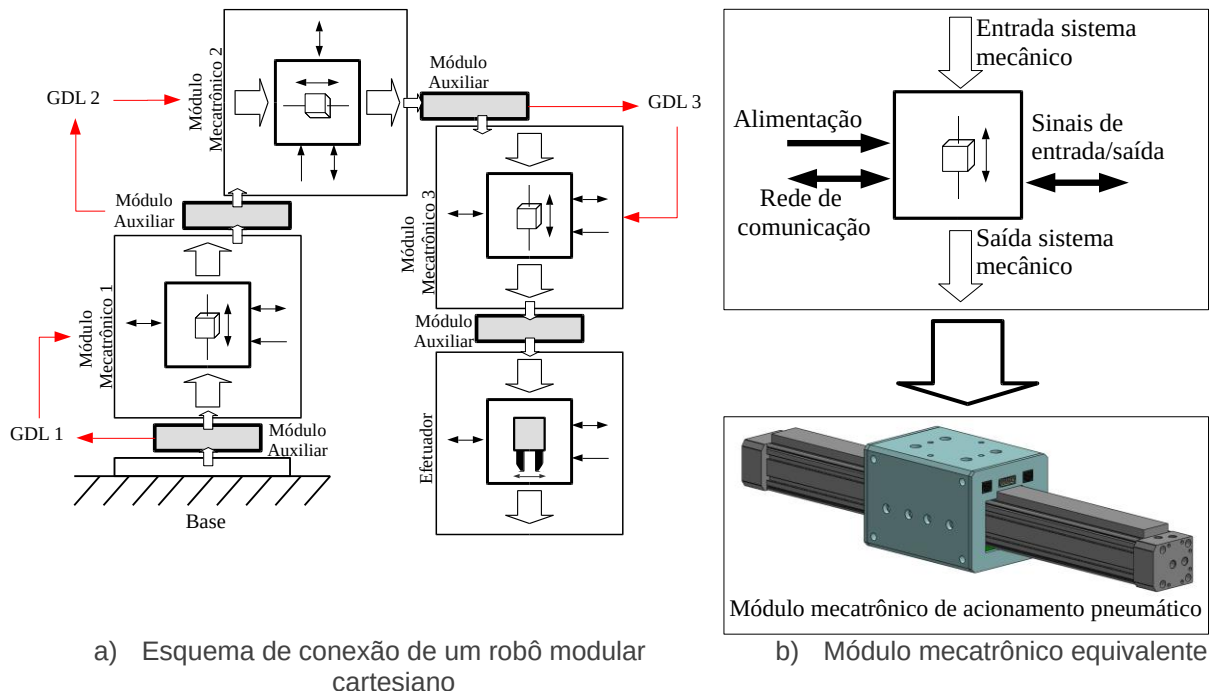
Para caracterizar os módulos mecatrônicos na montagem de robôs modulares, a Fig. 1 ilustra a representação de um robô cartesiano (Fig. 1.a) e um módulo de acionamento linear (Fig. 1.b), na qual o primeiro grau de liberdade (1 GDL) corresponde a um módulo conectado a uma base fixa por meio de módulos auxiliares,

enquanto que, para formar as duas juntas restantes (2 e 3 GDL), dois módulos são ligados entre si.

2.1 Sistema mecânico

De acordo com Larizza *et al.* (2006), os módulos utilizados na construção de robôs modulares podem ser definidos em dois tipos: ativos e passivos. Os módulos ativos consistem em sistemas mecânicos que, no seu interior, dispõem de dispositivos eletrônicos que realizam o controle ou processamento de dados. Já os módulos passivos são sistemas que apresentam um elemento de união entre dois módulos mecânicos (módulos auxiliares). A união entre os módulos mecatrônicos por meio dos módulos auxiliares, permitem a transmissão de energia (elétrica e pneumática), movimentos e esforços mecânicos entre os demais módulos mecatrônicos que constituem o sistema.

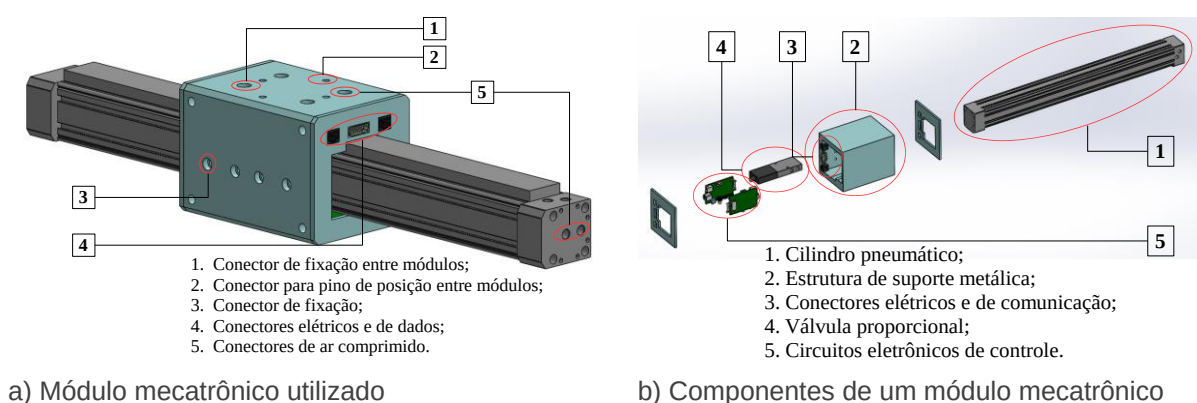
Figura 9. Exemplo de robô modular cartesiano com acionamento pneumático



Um módulo mecatrônico de acionamento pneumático, objeto de estudo neste trabalho, caracteriza-se pela capacidade de tomada de decisões no seu acionamento. Os movimentos deste atuador são provenientes da ação de uma válvula proporcional

reguladora de vazão, enquanto que o sinal de controle é obtido através de um sistema eletrônico que processa diferentes variáveis físicas. Como os módulos mecatrônicos tratam-se de sistemas compostos por elementos acionados por diferentes fontes de energia (elétrica, mecânica e pneumática), é necessário estabelecer o posicionamento adequado de seus componentes, a fim de atender os limites físicos da estrutura e, conseqüentemente, sem perder as características operacionais do sistema modular. Este sistema é composto por um cilindro pneumático, uma válvula proporcional, um sistema eletroeletrônico, sensores (posição, aceleração, orientação e pressão), suporte metálico do circuito eletroeletrônico e conectores elétricos. A Fig. 2.a ilustra um modelo de um módulo mecatrônico de atuação linear, e na Fig. 2.b apresenta-se um esquema detalhado do mesmo módulo e seus componentes internos.

Figura 10. Módulo mecatrônico de acionamento linear.

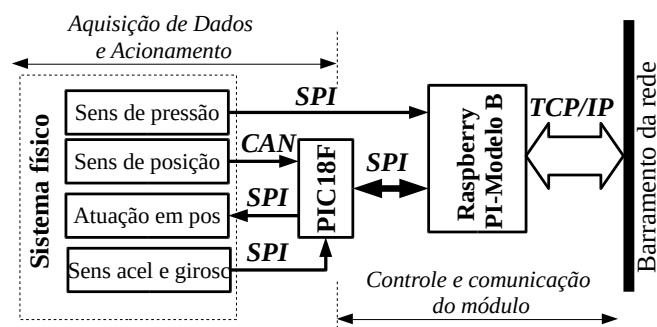


Como ilustrado, os principais componentes pneumáticos de um módulo mecatrônico de acionamento linear, são o cilindro e a válvula proporcional. O cilindro pneumático deve ser de dupla ação e sem haste, pois facilita a montagem dos componentes eletrônicos, bem como a interligação entre os demais módulos mecatrônicos do sistema. Nesta abordagem, sugere-se o modelo DGPIIL-32-300-PPV-AIF-KF-GK da Festo®, que possui interface de comunicação para leitura de sua posição absoluta. A válvula proporcional permite controlar o fluxo de ar através de um sinal elétrico, limitando o fluxo apenas em um sentido. O modelo da válvula aqui proposta é a MPYE-5-1/8-LF-010-B da Festo®.

2.2 Sistema elétrico

Este estudo, para integrar as informações e realizar o controle distribuído de um robô modular, propõe uma plataforma eletrônica integrada a cada módulo mecatrônico. A plataforma eletrônica suporta o processamento de dados em tempo real e a execução do Sistema MultiAgente, como também execução dos algoritmos de controle, o planejamento de trajetória e a comunicação com os outros módulos. A mais baixo nível, estão implementados os códigos de aquisição de dados e atuação, já a nível físico, encontram-se os circuitos de condicionamento, filtros analógicos e alimentação do sistema elétrico. A Fig. 3 apresenta um diagrama logico de funcionamento do sistema elétrico modular.

Figura 11. Controlador eletrônico de um módulo mecatrônico



Como ilustrado na Fig. 3, o circuito elétrico proposto é composto por: Módulo Eletrônico de Controle local e Sistema de Comunicação, cujos principais componentes incluem: microcontrolador PIC18F4580 da Microchip® e o Raspberry Pi Modelo B; e Sistema de Aquisição de Dados e de Acionamento, os quais utilizam sensores de posição (embutidos no cilindro pneumático com interface de comunicação CAN - Controller Area Network), sensores de pressão, aceleração e orientação (giroscópio), tratando-se da interface digital (SPI - Serial Peripheral Interface) do controlador.

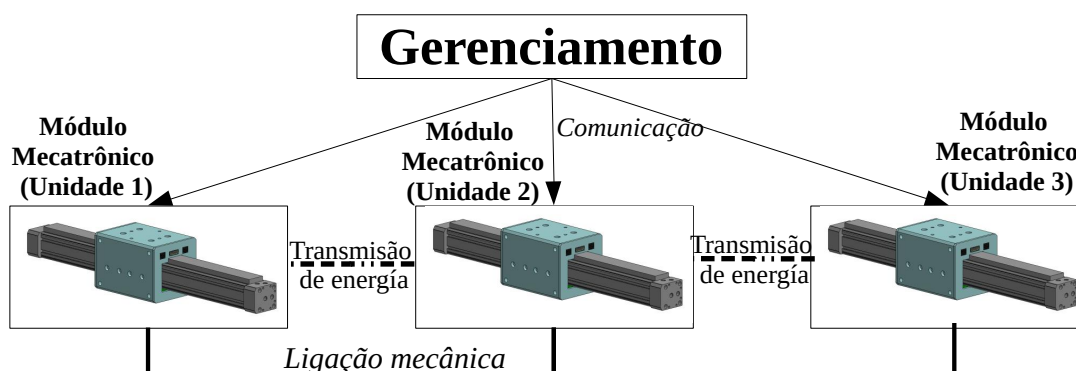
2.3 Sistema de Arquitetura Distribuído

Uma arquitetura de sistema distribuído, baseado na utilização de módulos mecatrônicos, permite a escalabilidade e a rápida reconfiguração das estruturas modulares formadas por estes dispositivos. Para tanto, é necessário uma adequada

concepção de software para manter a compatibilidade do sistema, pois, no funcionamento correto destes sistemas, requer-se alta taxa de troca de informações entre os componentes (Larizza *et al.*, 2006).

Como já mencionado, cada módulo mecatrônico dispõe de um microcomputador (Raspberry PI) com conexão do tipo Ethernet, possibilitando, assim, a comunicação TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) entre as unidades da estrutura. Assim, o presente trabalho propõe a utilização de uma arquitetura de gerenciamento dos módulos mecatrônicos por meio de Sistemas MultiAgentes, a serem aplicados na montagem de manipuladores reconfiguráveis, integrando os dispositivos mecatrônicos baseados nas abordagens apresentadas por (Cavalcante, 2012; Ferreira *et al.*, 2012). Na Fig. 4 ilustra-se a arquitetura hierárquica de interconexões dos módulos mecatrônicos a nível físico.

Figura 12. Sistema MultiAgente e os módulos mecatrônicos.



3. GERENCIAMENTO DOS MÓDULOS MECATRÔNICOS BASEADOS EM SISTEMAS MULTIAGENTES

A fim de compreender os conceitos associados ao gerenciamento dos módulos mecatrônicos baseados em Sistemas MultiAgentes, primeiramente, é necessário definir as funcionalidades de um agente informático, que, quando implementados em um módulo mecatrônico (agentes mecatrônicos), são entidades importantes no funcionamento de sistemas modulares. Segundo Wooldridge (2009), um agente, como uma entidade informática autônoma, caracteriza-se por sua capacidade de conhecimento parcial do ambiente dinâmico circundante, bem como pela habilidade em interagir com outros agentes na execução de uma determinada tarefa. Neste

trabalho, da mesma forma abordada por (Ferreira et al., 2012; Rocha et al., 2014), considera-se que um agente mecatrônico é um algoritmo computacional executado por um módulo mecatrônico, o qual é encarregado de realizar as tomadas de decisões a partir das informações do meio (condições de contorno), do conhecimento prévio do próprio agente (modelos matemáticos) e das informações fornecidas por outros agentes.

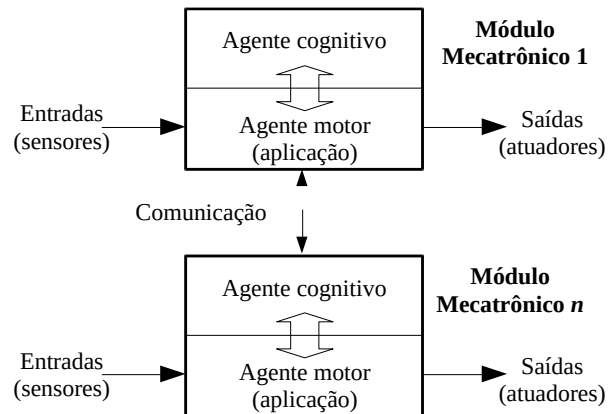
Como os robôs modulares são constituídos pela coalizão de módulos mecatrônicos, um aspecto importante no gerenciamento destes sistemas trata-se em definir as funcionalidades dos agentes os quais operam nos módulos mecatrônicos, para, assim, realizar o gerenciamento a nível global, no caso, um sistema modular. Desta forma, os agentes, na concepção de um módulo mecatrônico, são responsáveis pela execução das tarefas, pela habilitação das ações do sistema robótico, entre outras funcionalidades. Neste trabalho, um Sistema MultiAgente baseia-se na interação dos agentes mecatrônicos que, de forma conjunta, realiza o gerenciamento do sistema modular. Os agentes mecatrônicos são classificados de acordo a suas funcionalidades, e podem ser diferenciados dois grandes grupos: cognitivos e motores.

Um agente cognitivo é responsável pelas execuções de processos lógicos (processamento de algoritmos, comunicação, etc.) e a integração com os demais agentes. Já um agente motor é responsável pela interação no ambiente físico, realizando atividades de acesso ao hardware (e.g. sensoriamento e atuação). A Fig. 5 ilustra representa uma abstração dos agentes cognitivos e motores no funcionamento de um módulo mecatrônico.

Assim, posterior a montagem da uma determinada estrutura (robô modular), é necessário definir a organização funcional do Sistema MultiAgente. Neste trabalho, o Sistema MultiAgente é responsável pelo gerenciamento das ações e movimentos de um sistema modular, o qual destacam-se as ações relacionadas ao controle, planejamento de trajetória e análise da estrutura cinemática modular. Ainda Cavalcante, 2012; Ferreira et al., 2012, definem que um sistema MultiAgente é formado por agentes cognitivos e motores, os quais podem ser ainda classificados de acordo com as suas funcionalidades, tais como o agente líder de coalisão, agente recurso, agente pagina amarela e agente de distribuição. Ainda estas habilidades são classificadas como atômicas (tais como a leitura de um sensor ou a execução de um

único algoritmo) e complexas (execução do planejamento de trajetórias de todas as juntas, interface com o usuário, etc.).

Figura 13. Arquitetura proposta: visão geral, adaptado de Cavalcante, (2012)



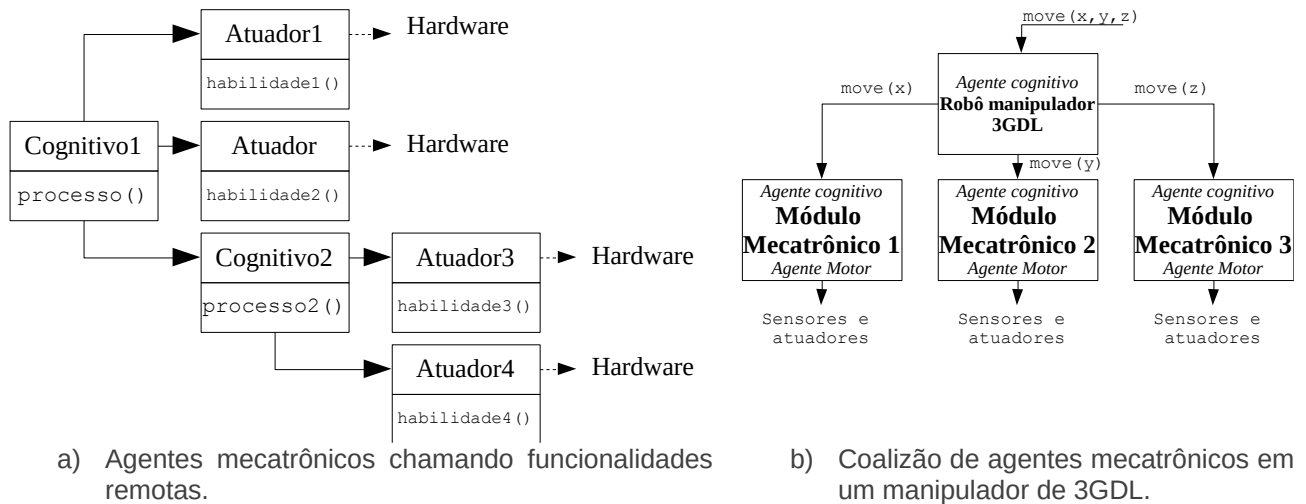
3.1 Definição de uma estrutura modular a partir coalisão de módulos mecatrônicos

Para que um robô modular possa executar suas tarefas, a estrutura composta por módulos mecatrônicos deve conter uma organização a nível lógico bem definida. Nesta perspectiva, o presente trabalho apresenta um sistema modular com três níveis hierárquicos, o qual funciona da seguinte maneira: Primeiramente, o agente cognitivo “Cognitivo1” executa remotamente as funcionalidades dos agentes “Atuador1”, “Atuador2” e “Cognitivo2”. A comunicação entre o agente “Cognitivo 1” e os demais agentes são chamadas atômicas, isto é, indivisíveis e são simplesmente chamadas às funcionalidades remotas. Entretanto, o agente “Cognitivo2” implementa a sua funcionalidade como um processo, isto é, através de um diagrama de blocos que representa o conjunto de suas atividades, que, por sua vez, encapsulam as chamadas aos agentes “Atuador3” e “Atuador4”. Note que o agente “Cognitivo1” não percebe a existência do “Atuador3” e “Atuador4” no sistema, de acordo com a representação apresentada na Figura 6a.

Um exemplo típico de tal arranjo é o caso de um manipulador de três graus de liberdade do tipo cartesiano (Fig. 6.b), onde cada elo é um módulo mecatrônico, o qual possui um agente motor e um agente cognitivo associado a cada elo. Assim, o sistema implementado é visto de fora do módulo mecatrônico como um agente cognitivo que

faz uso de chamadas aos agentes responsáveis pelas movimentações de cada articulação.

Figura 14. Interação dos agentes mecatrônicos para o gerenciamento de um robô modular



3.2 Execução das tarefas de um Sistema MultiAgente

Inicialmente, para que um robô modular possa executar suas tarefas, é necessário conhecer as características da estrutura modular formada, a fim de, posteriormente, planejar suas ações. Neste trabalho, o método proposto parte do pressuposto que a estrutura do manipulador e suas características são fornecidas por meio de Sistemas MultiAgentes (cinemática, volume de trabalho, carga máxima, etc.), de modo que estas características permitem a interface com o usuário, o processamento dos algoritmos de planejamento de trajetória e controle das atividades de gerenciamento a nível robô, bem como na negociação com outros robôs que possuam esta plataforma. Portanto, como o presente trabalho trata-se de um estudo em relação aos aspectos funcionais de um robô modular baseados em Sistemas MultiAgentes, propõe-se, como estudo de caso, uma abordagem referente ao planejamento de trajetórias através de algoritmos de interpolação por splines de 3º grau.

A escolha por este método deve-se ao fato de que os atuadores pneumáticos, quando utilizados em estruturas robóticas, necessitam executar movimentos suaves (efetuator e espaço de juntas), melhorando o desempenho do sistema e diminuindo os esforços dos atuadores durante a execução dos algoritmos de controle.

Há na literatura diversas técnicas que são utilizadas na resolução dos problemas de interpolação por splines de 3º grau. Autores como (Chapra e Canale, 2008; Ruggiero e Lopes, 1996), entre outros, explicam que, para obtenção de polinômios de terceiro grau entre cada intervalo de nós, como o apresentada na Eq. (1), são necessários atender os seguintes requisitos:

$$f_i(x) = a_i x^3 + b_i x^2 + c_i x + d_i \quad (1)$$

Desse modo, para que os pontos sejam interpolados, existem n intervalos e, por consequência, incógnitas para serem obtidas. As condições impostas para a spline são:

- a) os valores das funções devem ser iguais nos nós internos ($2n-2$ condições);
- b) as funções do primeiro e do último segmento devem passar, respectivamente, pelos pontos inicial e final (2 condições);
- c) as primeiras derivadas nos nós internos devem ser iguais ($n-1$ condições);
- d) as derivadas segundas nos nós internos devem ser iguais ($n-1$ condições); e
- e) a segunda derivada no nó inicial e no final devem ser nulas (2 condições).

A última condição, aplicada aos nós extremos da função, caracteriza a chamada spline natural, de forma que, se necessário, pode-se fazer com que a segunda derivada tenha valor diferente de zero nas extremidades da função.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho, os robôs modulares caracterizam-se pela coalizão de módulos mecatrônicos acionados pneumáticamente, de modo que o agrupamento destes módulos, os quais podem ser constituídos por atuadores lineares e/ou rotacionais, permite a formação customizada de diferentes tipos de cadeias cinemáticas. Assim, a fim de caracterizar os robôs modulares, o presente estudo apresenta uma abordagem genérica para sistemas com cadeias cinemáticas seriais (robôs SCARA, cartesiano, articulado, etc.).

Quanto aos aspectos construtivos de um robô modular, estabelece-se que os principais componentes envolvidos na montagem destes sistemas são os módulos auxiliares e os módulos mecatrônicos. Os módulos auxiliares são dispositivos

mecânicos que interligam dois módulos mecatrônicos, determinando, assim, o tipo de acionamento (prismático ou rotacional) e o arranjo (paralelo, perpendicular, vertical) dos módulos mecatrônicos envolvidos na conexão (por exemplo, R-R, P-R, P-P, etc.). Com relação aos módulos mecatrônicos, destaca-se que não foram especificadas as características mecânicas (conectores mecânicos, dimensionamento dos componentes, etc.) e elétricas (diagramas e circuitos elétricos, códigos de programa, tipos de sinais, etc.), tratando-se somente das funções básicas e requisitos necessários para a implementação de sistemas robóticos modulares, como, por exemplo, descrição do princípios de funcionamento dos módulos e agentes mecatrônicos, caracterização da montagem de robôs modulares, execução de tarefas, etc.

No que tange o funcionamento de um robô modular (e.g. robô cartesiano), assume-se que, uma vez definida a configuração desejada do manipulador, o Sistema MultiAgente inicializa o gerenciamento e as configurações deste sistema, onde cada módulo mecatrônico fornece as suas características (tipo de acionamento, sua localização, entre outras).

Como já mencionado, o Sistema MultiAgente, para que possa gerenciar as movimentações de um robô modular, deve, primeiramente, reconhecer o tipo de estrutura robótica formada pelos módulos mecatrônicos (cilíndrico, cartesiano, etc.), identificando os parâmetros físicos da estrutura (volume de trabalho, cinemática, velocidade máxima dos atuadores, etc.). Assim, após conhecer estas informações, o Sistema MultiAgente gerencia as ações associadas à movimentação do sistema (execução das tarefas), as quais relacionam-se aos cálculos de trajetória, aos algoritmos de controle e as configurações globais de controle.

Uma vez que o presente trabalho apresenta uma abordagem relacionada aos requisitos funcionais de robôs modulares, não foram tratadas as características de controle, trajetória e dinâmicas associadas aos módulos mecatrônicos. Nesse sentido, quanto às características de controle, visando futuras implementações destes sistemas, é necessário analisar o comportamento dinâmico dos atuadores pneumáticos, bem como a dinâmica da estrutura modular formada. Já em relação ao planejamento de trajetória, foram abordadas curvas formadas por splines de 3º grau. A escolha por este tipo de formulação deve-se ao fato que, além de serem aplicadas em diversos trabalhos na área da robótica, podem ser encontradas facilmente na literatura. Assim, levando-se em conta as particularidades mencionadas, o estudo de

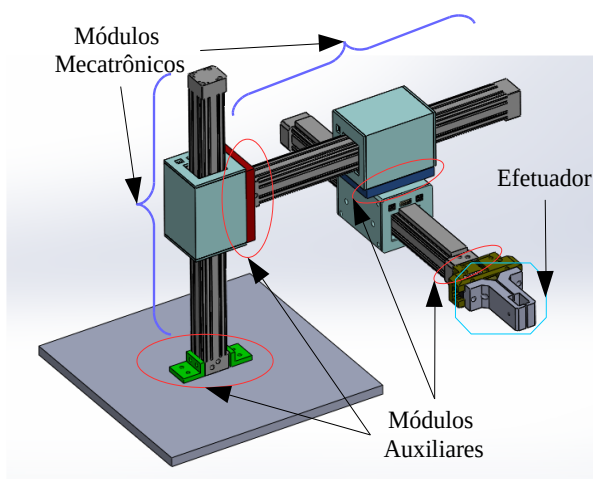
caso proposto, descrito com maiores detalhes na seção 4.1, não considera os aspectos relativos à formação de um robô com acionamento pneumático, de maneira que é possível considerar a metodologia proposta para robôs com diferentes tipos de acionamento, desde que seja conhecida as características cinemáticas e dinâmicas do sistema.

Em síntese, observa-se que os aspectos discutidos neste trabalho mostram-se viáveis na definição de um robô modular, visto que, conhecidos tais propriedades, é possível as características associadas à movimentação do sistema, como, por exemplo, estabelecer as leis de controle, planejar as trajetórias, calcular os esforços dinâmicos, entre outros, as quais não foram tratadas neste trabalho. Com intenção de ilustrar as características de um sistema como proposto, apresenta-se um estudo de caso para um robô modular pneumático cartesiano.

4.1 Estudo de caso

Nesta abordagem, para caracterizar os sistemas modulares baseados em módulos mecatrônicos, é apresentado um modelo virtual de um robô modular cartesiano com acionamento pneumático de 3 GDL, conforme ilustrado na Fig. 7.

Figura 15. Robô modular cartesiano com acionamento pneumático.



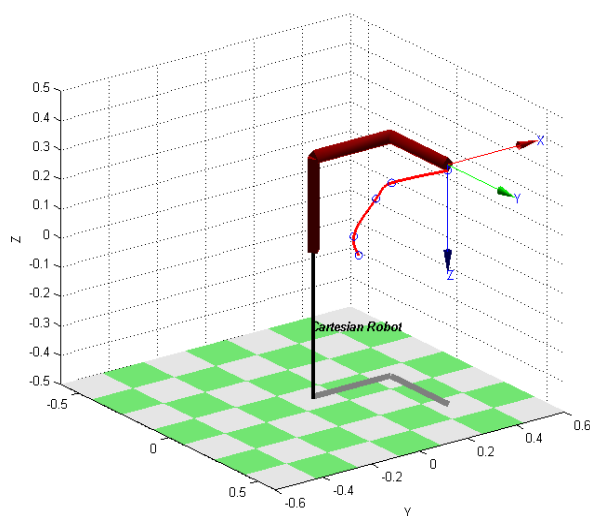
Fonte: O Autor.

Como ilustrado, os módulos mecatrônicos de acionamento pneumáticos lineares são compostos por, basicamente, um atuador pneumático, uma válvula proporcional e um sistema elétrico, de maneira que, acoplado ao êmbolo do atuador, são instalados todos os componentes periféricos da estrutura. A fim de estabelecer a

conexão mecânica entre cada módulo mecatrônico da estrutura, propõe-se a utilização de módulos auxiliares, cuja finalidade é acoplar as superfícies dos êmbolos de dois atuadores, no caso, dois módulos mecatrônicos. Quanto aos módulos de acionamento rotacional, embora não discutido neste trabalho, é importante destacar que estes sistemas apresentam o mesmo princípio de funcionamento do sistema de acionamento linear, diferenciando-se na modelagem dinâmica do atuador. Além disso, em relação às características do robô proposto, o Sistema MultiAgente realiza a identificação da estrutura (inicialização dos serviços e funções de gerenciamento), bem como o controle dos módulos e planejamento de trajetória. A programação do Sistema MultiAgente é implementada utilizando a ferramenta NetBeans, enquanto que as simulações de movimentação da estrutura são realizadas em Matlab e V-REP.

Quanto ao planejamento de trajetória, a metodologia proposta baseia-se na implementação de splines de 3º grau em função das características dos atuadores pneumáticos, apresentadas na Seção 3.2. Para tanto, considera-se que os pontos da trajetória são fornecidos no espaço de trabalho do robô, de modo que, utilizando a cinemática inversa da estrutura modular, é possível analisar as trajetórias nas juntas (módulos mecatrônicos). Nesta abordagem, o efetuador percorre um conjunto de 5 pontos alocados em seu espaço de trabalho, que, nesta pesquisa, são interpolados no espaço de juntas (módulos mecatrônicos) mediante funções splines de 3º grau. Os pontos-chave para geração da trajetória são estabelecidos arbitrariamente. Para ilustrar o problema, consideram-se as seguintes restrições: 1) Os pontos iniciais e finais são $p_1 = (0.12; 0.1; 0)$ e $p_5 = (0.32; 0.32; 0.3)$, respectivamente; 2) Os pontos intermediários são $p_2 = (0.0942; 0.0980; 0.0567)$, $p_3 = (0.1542; 0.1467; 0.1930)$ e $p_4 = (0.3000; 0.1028; 0.2999)$ respectivamente. A Fig. 7 ilustra a trajetória gerada para um robô modular cartesiano por meio de splines de 3º grau.

Figura 16. Interpolação por spline 3º ordem para o movimento de um robô modular.



Fonte: O Autor.

5. CONCLUSÕES

A robótica modular, na perspectiva de sistemas de manufatura flexíveis (SMF), são linhas de pesquisa que estão se tornando cada vez mais promissoras, pois, devido a competitividade do mercado, é necessário que os processos produtivos tenham menor custo, maior flexibilidade, capacidade de reutilização, entre outras.

Os módulos mecatrônicos são, dentre os componentes de um robô modular, os principais elementos no funcionamento deste sistema, visto que estas unidades gerenciam as ações e realizam a tomada de decisões em suas tarefas. Quanto aos aspectos construtivos, apesar do presente trabalho não tratar especificamente sobre o projeto dos sistemas mecânicos e elétricos de uma unidade mecatrônica, é possível observar a viabilidade na montagem de robôs manipuladores por meio de módulos mecatrônicos, já que são sistemas que permitem o intercâmbio de esforços mecânicos, energia pneumática, energia elétrica e dados.

A fim de garantir as funcionalidades dos robôs modulares, um dos aspectos importantes no projeto destes sistemas consiste na definição dos algoritmos de gerenciamento de robôs modulares. Estes algoritmos, também conhecidos como agentes, têm apresentado desempenhos satisfatórios em aplicações de controle distribuído, e, principalmente, na interação de unidades mecatrônicas autônomas que interagem dentro de um sistema de maior complexidade, como, por exemplo, os sistemas de manufaturas flexíveis e os robôs modulares.

Considerando-se as diferentes características que apresentam estes dispositivos na formação de novas estruturas robóticas, conclui-se que é possível desenvolver novos estudos em áreas como otimização do movimento, controle distribuído, identificação de sistemas, cálculo de cinemática e dinâmica, entre outros. Ainda, em relação ao projeto de robô modular, é relevante mencionar a necessidade de um projeto detalhado da estrutura mecânica e elétrica, visando a formulação de normas para utilização nesta área de conhecimento. No que se refere ao Sistema MultiAgente, o qual, nesta abordagem, é desenvolvido para robôs modulares, destaca-se que sua arquitetura organizacional e funcional é similar às apresentadas nos agentes mecatrônicos utilizados nos sistemas de manufatura, mostrando-se viável no contexto da presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Atta-Konadu, R.K.C., 2006, "Design and implementation of a modular controller for robotic machines" (Phd Thesis), Saskatoon, Canada.
- Atta-Konadu, R., Lang, S.Y.T., Zhang, C., Orban, P., 2005, "Design of a robot control architecture", Presented at the Mechatronics and Automation, 2005 IEEE International Conference, pp. 1363–1368 Vol. 3. doi:10.1109/ICMA.2005.1626752.
- Barata, J., Camarinha-Matos, L.M., 2002, "Implementing a contract-based multi-agent approach for shop floor agility", Presented at the 13th International Workshop on Database and Expert Systems Applications, 2002, Proceedings, pp. 639–645. doi:10.1109/DEXA.2002.1045970.
- Cavalcante, A.L.D., 2012, "Arquitetura baseada em agentes e auto-organizável para a manufatura" (Phd Thesis), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil.
- Chapra, S.C., Canale, R.P., 2008, "Métodos Numéricos para Engenharia", McGraw-Hill.
- Farid, A.M., Ribeiro, L., 2015, "An Axiomatic Design of a Multiagent Reconfigurable Mechatronic System Architecture", IEEE Trans. Ind. Inform. 11, 1142–1155. doi:10.1109/TII.2015.2470528.
- Ferreira, J., Ribeiro, L., Neves, P., Akillioglu, H., Onori, M., Barata, J., 2012, "Visualization tool to support multi-agent mechatronic based systems", Presented at the IECON 2012 - 38th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, pp. 4372–4377. doi:10.1109/IECON.2012.6389185.
- Gotz, M., 2007, "Run-time reconfigurable RTOS for reconfigurable Systems-on-Chip" (Phd Thesis), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil.
- Guttman, E., 2001, "Autoconfiguration for IP networking: enabling local communication", IEEE Internet Comput. 5, 81–86. doi:10.1109/4236.935181.
- Koren, Y., Heisel, U., Jovane, F., Moriwaki, T., Ulsoy, G., Van Brussel, H., 2003, "Reconfigurable Manufacturing Systems", in: Manufacturing Technologies for Machines of the Future, Springer Berlin Heidelberg, pp. 627–665.
- Larizza, P., Murciano, G., Pappagallo, L., Triggiani, G., 2006, "A new generation of modular robots", Presented at the 2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp. 3367–3371. doi:10.1109/ISIE.2006.296006.
- Perondi, E.A., 2002, "Controle não-linear em cascata de um servoposicionador pneumático com compensação do atrito" (Phd Thesis), Universidade Federal de Santa Catarina, Brazil.
- Ribeiro, L., Barata, J., 2011, "Prospecting tools for mechatronic multiagent-based systems", Presented at the 2011 9th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), pp. 369–374. doi:10.1109/INDIN.2011.6034904.

Ribeiro, L., Barata, J., Onori, M., Hanisch, C., Hoos, J., Rosa, R., 2011, "Self-organization in automation - the IDEAS pre-demonstrator", Presented at the IECON 2011 - 37th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society, pp. 2752–2757. doi:10.1109/IECON.2011.6119747.

Rocha, A., di Orio, G., Barata, J., Antzoulatos, N., Castro, E., Scrimieri, D., Ratchev, S., Ribeiro, L., 2014, "An agent based framework to support plug and produce", Presented at the 2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN), pp. 504–510. doi:10.1109/INDIN.2014.6945565.

Rocha, A.D., Peres, R., Barata, J., 2015, "An agent based monitoring architecture for plug and produce based manufacturing systems", Presented at the 2015 IEEE 13th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), pp. 1318–1323. doi:10.1109/INDIN.2015.7281926.

Ruggiero, M.A.G., Lopes, V.L. da R., 1996, "Cálculo numérico: aspectos teóricos e computacionais", Makron Books do Brasil.

Sarmanho, C.A.C., 2014, "Desenvolvimento de um robô pneumático de 5 graus de liberdade com controlador não linear com compensação de atrito" (Phd Thesis), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil.

Sobczyk, R.M.S., 2009, "Controle em cascata e a estrutura variável com adaptação de parâmetros e compensação de atrito de um servoposicionador pneumático" (Phd Thesis), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brazil.

Wooldridge, M., 2009, "An Introduction to MultiAgent Systems", John Wiley & Sons. World Robotics, 2016, "Home - World Robotics 2016", [WWW Document], URL <http://www.worldrobotics.org/> (accessed 2.19.16).

RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

AN APPROACH FOR THE DEVELOP OF MODULAR ROBOTS

Anselmo Rafael Cukla, cukla.anselmo@gmail.com¹

Rafael Crespo Izquierdo, rcrespo9@hotmail.com¹

Eduardo André Perondi, perondi@ufrgs.br¹

Flavio José Lorini, lorini@ufrgs.br¹

José Barata, jab@uninova.pt²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rua Sarmento Leite, 425, CEP: 90050-170, Porto Alegre - RS, Brasil

²UNINOVA, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Quinta da Torre, CP: 2829-516, Caparica, Portugal

Abstract. A flexible manufacturing system is defined as a system that has the ability to respond to expected or unexpected changes in a process of manufacturing. Currently, one of the options to implement a flexible manufacturing system is the use of advanced technologies that provide greater flexibility, lower cost and reusability. In this context, the modular robots (that utilize mechatronic modules) can be an alternative to conventional manipulators, because they have a variable kinematic structure that enables them to adapt to the changes of different production lines, which is more economical for industrial implementations. In this paper, considering the flexible characteristics of modular robots, a proposal for the design and development of mechatronic modules in the assembly of different robotic architectures is presented. Thus, considering modular systems that are pneumatically operated, it is proposed the use of flexible mechatronic modules and quick setup in the formation of modular systems. The methodology is described in the following steps: 1) describe the mechatronic modules in the mounting of modular robots; 2) specify the mechanical and electrical characteristics of a mechatronic module; 3) determine the operation of the Multi-agent system in managing a modular robot; and finally, 4) detail the necessary tasks (control algorithms and path planning) for moving modular robots. The results show that the modular robots based on mechatronics agents are viable systems to be used in factory floor or dynamic production lines.

Keywords: modular robots, mechatronic modules, pneumatic actuator systems, multi-agent systems

CAPÍTULO 11

RESISTÊNCIA À FADIGA DE ESPÉCIMES RETIRADOS DE UM TUBO DE AÇO API 5CT N80Q SOLDADO PELO PROCESSO HF/ERW

Marcelino Pereira do Nascimento

Doutor em Engenharia Mecânica

Instituição: Faculdade de Engenharia e Ciências, Universidade Estadual Paulista
Júlio de Mesquita Filho (UNESP - FEG)

Endereço: Av. Ariberto Pereira da Cunha, 333, Guaratinguetá - SP, CEP: 12516-410

E-mail: marcelino.nascimento@unesp.br

RESUMO: O avanço tecnológico na obtenção de fontes de energia tem sido motivado particularmente pelas novas descobertas de reservas de petróleo e gás natural. Nas linhas dutoviárias *onshore* e *offshore*, instaladas para condução ou prospecção desses insumos, a presença de uma trinca pode ter consequências drásticas, não só econômicas e ambientais, mas à vida de pessoas que trabalham ou moram próximas às instalações. Tais trincas podem originar-se por fadiga decorrentes do transporte dos tubos ou devido às correntes marítimas nas instalações *offshore* em operação, potencializadas pelo ambiente corrosivo e pelas altas pressões da coluna de água, o que tem despertado o interesse da comunidade científica e estabelecido uma nova linha de pesquisa no setor de O&G. Este trabalho tem por objetivo conhecer o comportamento em fadiga de espécimes retirados de um tubo de aço da classe API 5CT N80Q soldado por resistência elétrica de alta frequência (HF/ERW), empregado em dutos submarinos para transporte de óleo e gás. Os resultados obtidos demonstraram o excelente comportamento em fadiga do aço API N80Q, com destaque para a resistência à fadiga acima de sua tensão de escoamento, o que revela sua alta capacidade de endurecimento por deformação.

PALAVRAS-CHAVE: Petróleo & Gás; VIV; Fadiga Em Dutos Submarinos; Tubos *Offshore*.

ABSTRACT: Technological advances in obtaining energy sources have been motivated by new discoveries of oil and natural gas reserves. In onshore and offshore pipelines, installed to conduct or prospect for these inputs, the presence of a crack can have drastic consequences, not only economically and environmentally, but also for the lives of people who work or live close to the facilities. Such cracks can originate from fatigue resulting from the transport of pipes or due to sea currents in offshore installations in operation, potentiated by the corrosive environment and the high pressures of the water column, which has aroused the interest of the scientific community and established a new line of research in the O&G sector. The objective of this work is to know the fatigue behavior of specimens taken from an API 5CT N80Q class steel pipe welded by high frequency electrical resistance (HF/ERW), used in submarine pipelines for the transport of oil and gas. The results obtained demonstrate the excellent fatigue behavior of the API N80Q steel, with special emphasis on the fatigue resistance above its yield stress due to high capacity for strain hardening.

KEYWORDS: Oil And Gas Sector; Fatigue From VIV; Pipelines; Welded Tubes.

1. INTRODUÇÃO

Um estudo divulgado pela Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) em 2011 estimava que os países em desenvolvimento deveriam responder por 68% do aumento na demanda por petróleo até 2020. Naquele cenário, as descobertas do Pré-Sal poderiam colocar o Brasil entre os principais produtores mundiais de petróleo e gás natural [1]. Conforme a Agência Nacional do Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP) sobre o Pré-sal, o volume total estimado só dos campos de Librae Franco pode chegar a 13 bilhões de barris [1]. As avaliações preliminares do governo para o Pré-Sal brasileiro indicaram de 50 a 70 bilhões de barris de óleo em camadas situadas entre cinco mil e sete mil metros abaixo do nível do mar [1]. Em razão desta significativa expansão do setor, observou-se um crescimento de novas instalações de linhas dutoviárias de gás e petróleo no País. As grandes companhias exploradoras, assim como os fabricantes de tubos para linhas dutoviárias, têm como desafio a busca incessante pelo aumento dos níveis de segurança e confiabilidade operacional no transporte dos produtos de fontes cada vez mais remotas (*onshore* e *offshore*) para os grandes centros urbanos [2]. Em adição, de acordo com Hippert Júnior [3], o crescimento da malha dutoviária no País também é estimulado pelo envelhecimento e pela necessidade de renovação das atuais linhas instaladas. Aproximadamente 90% do petróleo produzido no Brasil são oriundos de campos *offshore* atualmente, ou seja, plataformas exploratórias no litoral brasileiro situadas na camada Pré-Sal. As reservas de petróleo que se encontram nessa região são definidas como sendo de média e alta qualidade de acordo com seu grau API (*American Petroleum Institute*) [4]. Tudo isso acarreta em maior desafio tecnológico para obtenção de equipamentos submarinos que possibilitem a extração de petróleo e gás em grandes profundidades e o transporte desses produtos para tratamento em terra. Tal transporte implica o assentamento de dutos submarinos em leitos acidentados, gerando o aparecimento de vãos livres e consequente perda de contato do duto com o solo, situação propícia para o surgimento das vibrações induzidas por vórtices (VIV's) [5]. A grande maioria dos problemas de vibrações induzidas por desprendimento de vórtices observados em ambiente marinho ocorre em *risers* e em vãos livres de dutos submarinos devido a depressões ou elevações do solo, região onde a corrente marítima é considerável. O desprendimento de vórtices resulta no surgimento de uma força oscilatória que age no anteparo (cilindro) transversalmente

ao fluxo. Tais dutos submarinos devem ser bem projetados para que as vibrações induzidas por vórtices não se aproximem das vibrações naturais da tubulação evitando assim entrar em ressonância e ocasionar eventuais falhas por fadiga. De acordo com a norma DNV OS F101 [6], os limites necessários para manter a integridade do duto são estabelecidos por dois critérios, o critério *screening* (triagem) e o critério de fadiga. O primeiro é utilizado na determinação do vão máximo admissível, ou vão livre admissível que um duto pode ter que não comprometa sua estrutura com o surgimento das VIV's. Caso o vão máximo admissível seja superior ao recomendado, deve-se realizar a análise de fadiga. Sendo este não atendido, deve-se realizar intervenções a fim de se alterar a configuração inicial do projeto. Para Balena [7], o colapso da estrutura do *riser* resulta em consequências desastrosas, tanto sob o ponto de vista econômico, devido à paralisação e reparo das operações de produção, quanto sob o ponto de vista ambiental, pois o vazamento de óleo pode causar um desastre ecológico de grandes proporções, caso atinja regiões com grande atividade biológica. Conforme enfatizado por Oliveira e Pacheco (2022) [8]:

“problemas de vibração excessiva em tubulações são a maior causa de paradas, falhas por fadiga, vazamentos de hidrocarbonetos, incêndios e explosões em refinarias, plantas petroquímicas e plataformas de petróleo”.

Os aços de alta resistência e baixa liga (ARBL) empregados em sistemas dutoviários possuem alta resistência mecânica, boa tenacidade e boa soldabilidade, características obtidas devido ao baixo teor de carbono e aos processos termodinâmicos de fabricação. Porém, não basta que os dutos de gás e petróleo suportem grandes pressões, eles devem também ser resistentes à corrosão externa (ambiente marítimo) e interna (provenientes das altas concentrações de impurezas como o CO_2 e H_2S), bem como à corrosão sob tensão [9]. A corrosão, a fragilização por hidrogênio e as tensões residuais oriundas do processo de fabricação dos tubos são apontadas como os principais fatores causadores de falhas nas tubulações [10]. As altas pressões da coluna de água podem gerar um estado de tensões bastante severo sobre um defeito como trinca potencialmente presente no material do tubo. A extensão deste defeito em paredes de espessura mais reduzida pode levar à falha da estrutura. Conforme Godoy [11], trincas de fadiga em tubos também são geradas durante o seu transporte do local de fabricação até o local de instalação. De acordo com o autor [12], a fadiga devido ao trânsito ocorre através de tensões cíclicas induzidas por forças gravitacionais e inerciais. A força peso de um tubo impõe uma

tensão regular de uma dada magnitude. Com a força agindo com amplitude vertical, o tubo é flexionado de maneira a ser solicitado alternadamente por tração e compressão, nas superfícies interna e externa [12]. Neste cenário, tubos soldados pelo processo com resistência elétrica de alta frequência (*High-Frequency/Eletric Resistance Welding-HF/ERW*) - têm desempenhado um papel mais ativo no setor de petróleo e gás para aplicações em águas profundas, em altas e extremamente baixas temperaturas, em condições de alta pressão e em ambientes altamente corrosivos, substituindo gradualmente tubos fabricados por outros processos e com menor custo operacional e de produção [13]. Os tubos HF/ERW apresentam excelente circularidade, espessura de parede uniforme (excentricidade), tolerâncias dimensionais controladas e nenhuma ovalização, características particularmente importantes à resistência ao colapso plástico e à garantia da integridade estrutural da instalação para aplicações no Pré-Sal. No processo HF/ERW, uma corrente de alta frequência na ordem de 300 a 1000 kHz é aplicada na área de soldagem, e uma força de compressão é adicionada à região aquecida pela resistência. O processo HF/ERW é classificado como soldagem por indução elétrica de alta frequência ou resistência elétrica de alta frequência, dependendo do método empregado na aplicação da corrente de alta frequência ao elemento de trabalho [13].

Reiterando a importância do tema abordado, Oliveira e Pacheco [8], citando o *Health and Safety Executive - Offshore Hydrocarbon Releases 2001-2008 - Buxton: HSE;2008.RR672 - Research Report*, destacam que

“estudos no Mar do Norte mostram que tubulações de processo respondem por 21% dos vazamentos de hidrocarboneto numa plataforma de produção de petróleo, principalmente, devido a falhas por fadiga”.

Ampliando a abrangência do efeito das vibrações, sejam elas induzidas por vórtices (VIV) ou por fluxos (VIF), Charll dos Santos, *et al.* [14], em seu estudo realizado no helicóptero Airbus AS365 K2, conclui que

“a análise de vibrações é uma ferramenta poderosa no auxílio à prevenção de falhas, diminuindo o custo de manutenção, prolongando a vida útil de um helicóptero e preservando o bem maior que é o fator humano”.

A partir da breve justificativa e das motivações apresentadas, este trabalho visa a realizar um estudo sobre o comportamento em fadiga de um tubo de aço API 5CT N80Q soldado pelo processo HF/ERW, empregado em sistemas dutoviários de prospecção de petróleo e gás.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado nesse estudo foi um tubo de aço API 5CT N80Q com $\varnothing$ 73,8mm (2 29/32in) x 5,5mm (7/32in) de espessura de parede, cuja composição química especificada pela norma API somente limita os valores máximos de S=0,03% e P=0,03%.

2.1 Análise microestrutural e fractográfica

As amostras do aço API 5CT N80Q foram extraídas do tubo e preparadas para análise microestrutural. As amostras foram embutidas a quente, lixadas com papéis de granulometria #220, #320, #400, #600, #1000, #1200 e #1500 *mesch*, polidas com alumina 2 μ m e atacadas com reagente Nital 2% por 30 segundos. As imagens foram capturadas por meio de um microscópio óptico de marca NIKON, modelo EPIPHOT 200e uma câmera do tipo SPOT Insight QE, utilizando os programas AXION VISION. A análise fractográfica da amostra fraturada foi feita em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) da marca ZEISS, modelo EVO/LS15.

2.2 Medição de rugosidade

Todos os corpos de prova de fadiga foram submetidos a medições de rugosidade por meio de um rugosímetro MITUTOYO-SURFTEST 301, com *cut-off* de 0,8mm e percurso de amostragem de 4,0mm. As medições foram realizadas no sentido longitudinal e transversal, obtendo-se os valores de Ra, Rt e Ry.

2.3 Microdureza vickers (HV)

Os ensaios de microdureza Vickers foram realizados em um microdurômetro MICROMET 2004 da BÜHLER, com carga de 300g.

2.4 Ensaios de tração

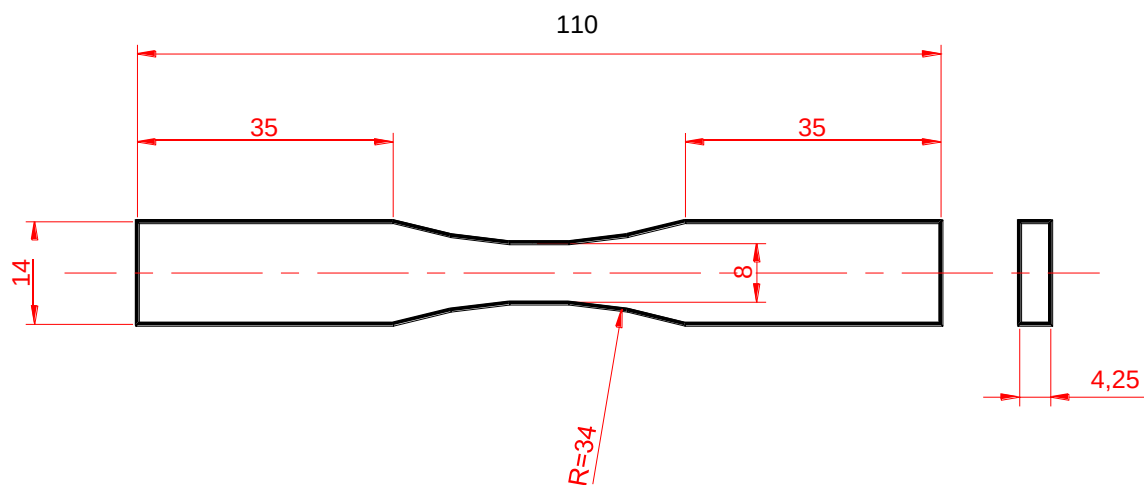
Do tubo de aço API 5CT N80Q foram usinados corpos de prova de tração, extraídos somente na direção de laminação (longitudinal) em razão de seu diâmetro.

Os ensaios foram realizados em conformidade com a norma ASTM E 8M, na temperatura ambiente e por meio de uma máquina eletromecânica INSTRON modelo 8801, com capacidade de 100 kN. A velocidade de avanço empregada foi de 1,0 mm/min e utilizou-se um extensômetro axial com comprimento de referência de 25 mm para medir a deformação.

2.5 Ensaio de fadiga axial

Os corpos de prova para o ensaio de fadiga axial foram confeccionados conforme a norma ASTM E466. Os ensaios foram realizados com razão de carga $R=0,1$ até a fratura ou 10^6 ciclos, frequência de 20 Hz, amplitude constante e na temperatura ambiente. Os ensaios de fadiga axial foram realizados em uma unidade servo-hidráulica de ensaios mecânicos modelo INSTRON 8801 de 100 kN de capacidade. As dimensões do corpo de prova de fadiga estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 - Dimensões dos corpos de prova planos de fadiga [mm].



Fonte: O Autor.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados da análise da composição química do tubo de aço API 5CT N80Q realizada conforme a norma ASTM E1806 pela fabricante do tubo, Apolo Tubulars S.A.

Tabela 1: Composição química especificada do aço API 5CT N80Q (% em massa).

%	C	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Si	Al
API	0,301 ±0,006	1,37 ±0,07	0,028 ±0,001	0,003 ±0,002	0,08 ±0,009	<0,023	0,018 ±0,001	0,0025 ±0,0246	0,25 ±0,02	0,03 ±0,004

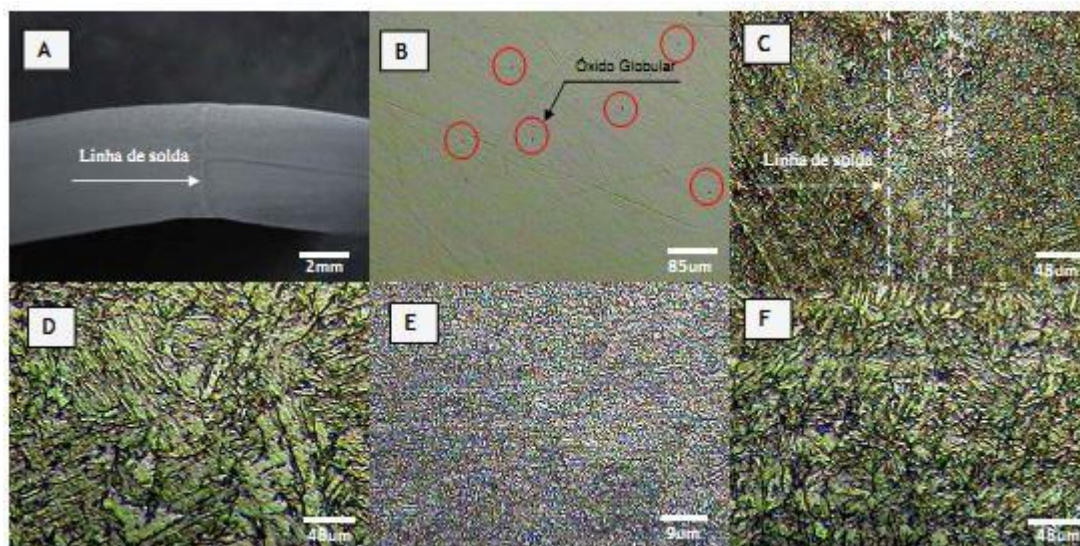
Realizada por Apolo Tubulars S.A. Fonte: o autor

Como mencionado anteriormente, a norma API 5CT apenas limita os teores dos elementos químicos S e P em 0,03%. Constata-se que os valores obtidos para estes elementos na análise química foram muito inferiores aos requeridos pela referida norma. Nos aços ARBL, os elementos de liga têm como objetivo elevar a resistência mecânica mediante refinamento de grão associado à formação por solução sólida. Eles também são adicionados para influenciar a temperatura de transformação da austenita em ferrita e perlita durante o resfriamento acelerado. O cobre, em níveis que ultrapassam 0,50%, aumenta a resistência do aço devido ao endurecimento da ferrita juntamente com leves decréscimos na ductilidade [13]. O cromo aumenta a temperabilidade do aço e contribui para a resistência ao desgaste e dureza. Quando o cromo excede 11% em aços de baixo carbono, um filme inerte é formado na superfície, criando resistência ao ataque por reagentes oxidantes. O molibidênio é usado principalmente para melhorar a endurecibilidade. O silício tem ação desoxidante e promove aumento de ferrita acicular [15], a qual tem um efeito importante no melhoramento da resistência ao escoamento, bem como no aumento do limite de resistência por mecanismos de formação de soluções-sólidas [16] e da tenacidade.

3.1 Microscopia óptica (MO)

A Figura 2 apresenta a microestrutura obtida na direção de laminação do tubo de aço API 5CT N80Q. A Fig. 2a refere-se a uma macrografia da junta soldada; a Fig. 2b destaca a presença de inclusões de óxidos globulares que, se bem distribuídas na matriz, tornam-se benéficas às propriedades mecânicas do material; a Fig. 2c apresenta a morfologia da linha de solda, homogênea em relação à matriz; as Figs. D, E e F, nas respectivas escalas, apresentam a microestrutura do aço API N80Q tipicamente constituída de martensita revenida.

Figura 2 - Após tratamento térmico de têmpera e revenimento. (A) Macrografia - Nital 10%; (B) Inclusões, sem ataque; (C) Linha de Solda; (D, E, F) Metal Base. Nital 2%.



Fonte: O Autor.

3.2 Medições de microdureza (HV)

As medições foram realizadas em três regiões ao longo da espessura do tubo de aço API 5CT N80Q: próximo ao diâmetro externo (D_E), centro (linha neutra, D_M) e próximo ao diâmetro interno (D_I). Os resultados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de microdureza (HV) obtidas ao longo da espessura do tubo.

DE	DM	DI
$255,6 \pm 5,4$	$245,0 \pm 19,2$	$243,5 \pm 12,5$

Fonte: O Autor.

Os distintos valores de dureza obtidos denotam o efeito do processo de conformação da chapa de aço laminada em tubo, que naturalmente estira mais intensamente as camadas superficiais próximas ao diâmetro externo (D_E) comparativamente às camadas superficiais próximas ao diâmetro interno (D_I), com proporcional aumento da dureza local. Neste contexto, percebe-se pouca diferença entre os valores de dureza obtidos na região correspondente ao diâmetro médio (D_M) e no diâmetro interno (D_I), este último podendo ter sido submetido a tensões compressivas. Tais distintos valores de dureza das três regiões mencionadas decorrem, portanto, dos distintos níveis de deformação (encruamento) a que cada uma foi submetida.

3.2 Ensaaios de tração

A Tabela 3 apresenta os resultados dos ensaios de tração realizados em corpos de prova retirados do tubo de aço API 5CT N80Q.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios de tração.

Propriedades Mecânicas	L.E. (0,2%) (MPa)	L.R. (MPa)	Along. (%)	Módulo de Elasticidade (GPa)	Razão (LE/LR)
Média e DP	493±43	851±35	21,1±0,0	180	0,58

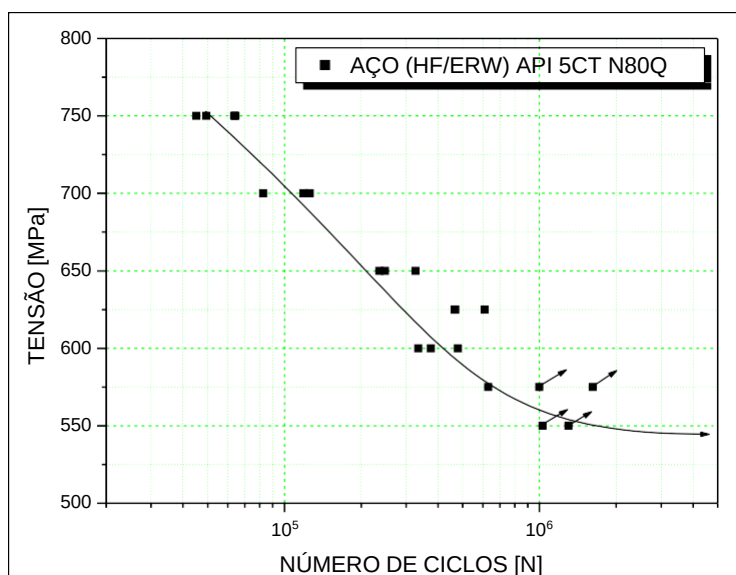
Fonte: O Autor.

Constata-se na Tabela 3 que o valor médio da tensão de escoamento para o aço API5CT N80Q está abaixo do valor mínimo estabelecido pela norma API 5CT (2008) – $552\text{MPa} \leq \text{L.E.} \leq 758\text{MPa}$, porém o valor médio da tensão limite de resistência obtido está acima do valor mínimo estabelecido pela referida norma: $\text{L.R.} \geq 689\text{MPa}$. De acordo com McClintock [18], o processo de conformação do tubo pode propiciar efeitos que geram escoamento descontínuo e perda no limite de escoamento do aço por efeito Bauschinger. Logo, o tubo tende a apresentar um limite de escoamento inferior ao da chapa original. Considerando o processo de enrolamento dos tubos de prospecção nos navios do tipo Apache (Navio para Lançamento de Dutos Submarinos, ou da sigla em inglês: PLSV - *Pipe Laying Support Vessel*), com subsequente desenrolamento para lançamento em alto-mar, pelo mesmo efeito Bauschinger poderá ocorrer aumento das propriedades mecânicas mencionadas. Chama a atenção o baixo valor da Razão de Escoamento $R=0,58$. Quanto menor a relação L.E/L.R, maior a possibilidade de controlada fratura mediante a presença de uma trinca. Isto é: tal relação indica que o material em questão propicia ampla região de crescimento estável da trinca e consequente subsídio para que ações possam ser tomadas visando a evitar sua propagação até atingir o tamanho crítico, cuja fratura se torna iminente, instantânea e abrupta.

3.4 Ensaaios de fadiga

A Figura 3 apresenta os resultados dos ensaios de fadiga dos corpos de prova retirados do tubo de aços API 5CT N80Q, representados pela curva de Wöhler (SN).

Figura 3: Curva Tensão vs. Número de ciclos de amostras do aço API 5CT N80Q.



Fonte: O Autor.

A Figura 3 apresenta claramente a tendência da resistência à fadiga do material em questão, cujo limite de resistência correspondente à 10^7 ciclos - patamar abaixo do qual se obtém vida infinita – situa-se entre 525-500 MPa. Por outro lado, na região correspondente à fadiga de baixo ciclo/alta tensão, observa-se que o aço API 5CT N80Q resistiu cerca de 30 mil a 40 mil ciclos na tensão de 750 MPa, muito além do limite de escoamento determinado. Ao contrário do possível efeito Bauschinger inferido aos resultados obtidos nos ensaios de tração realizados- o qual, grosso modo, pode ser considerado como correspondente a $\frac{1}{4}$ de ciclo de fadiga-, o mesmo material demonstra apresentar grande capacidade de endurecimento com a sequência dos ciclos de carregamento, evidenciado pelo aumento da resistência à fadiga nesta região de deformação plástica do ensaio monotônico de tração, o que é corroborado pela baixa Razão L.E./L.R. = 0,58, apresentado na Tabela 3.

Constata-se ainda que o intervalo de tensões correspondente ao número de ciclos de 40 mil a um milhão foi $\Delta\sigma=200$ MPa (750MPa – 550MPa), portanto uma faixa estreita de variação. Isto implica que um pequeno dano na superfície do material capaz de elevar a tensão localmente (concentrador de tensão) nesta ordem de grandeza reduzirá drasticamente a resistência à fadiga do tubo no sentido inverso. Isto é, um dano gerado no material (concentrador de tensão) capaz de elevar a tensão localmente de 550MPa para 750MPa reduz sua vida em fadiga de um milhão de ciclos (ou mais) para 40 mil ciclos. As setas inclinadas acrescentadas aos corpos de prova submetidos à 10^6 ciclos no gráfico indicam que não houve fratura no respectivo nível de

tensão (*run out*) e que os ensaios foram interrompidos.

3.5 Medições de rugosidade

A Tabela 4 apresenta os resultados das medições de rugosidade realizadas em todos os corpos de prova de fadiga. Os parâmetros de rugosidade determinados foram: Ra (rugosidade média aritmética), Rt (rugosidade total) e Ry (rugosidade média).

É bem estabelecido que o princípio do processo de fadiga sempre tem início em uma superfície livre. Trata-se de um processo essencialmente superficial, mesmo quando origina em inclusões, pois a interface delas com a matriz não deixa de ser uma superfície. Nas superfícies livres, os grãos tendem a ser maiores e alongados em direção ao interior do material. Não sofrem, portanto, restrição (*constraint*) dos grãos ao redor (adjacentes), situação esta típica daqueles situados no interior do material. Por conta disto, as discordâncias movem-se com maior liberdade até a superfície, originando as intrusões e extrusões que atuarão como concentradores da já normalmente maior tensão induzida nas camadas subsuperficiais. Neste contexto, também as marcas de usinagem agem como concentradores de tensão indesejáveis. Com isso, rugosidades consideradas grosseiras atuam como concentradores de tensões na superfície do material facilitando a movimentação dos planos de escorregamento dos retículos cristalinos e a formação de intrusões e extrusões, conhecidas como os micromecanismos responsáveis pela fase inicial da nucleação da trinca de fadiga. As amostras que apresentam Ra, Ry e Rt alto possuem microscopicamente mais altas saliências e mais profundas reentrâncias que originarão concentração de tensão local e consequentes micro deformações, as quais facilitam a formação de planos e bandas de deslizamento. De fato, a diferença entre os valores obtidos em número de ciclos até a ruptura para um mesmo nível de tensão está relacionada com a qualidade do acabamento superficial dos corpos de prova pós usinagem.

A Tabela 4 apresenta os resultados das medições de rugosidade realizadas nos corpos de prova ensaiados.

Tabela 4 - Valores de rugosidade (cut-off=0,8mm; campo de amostragem=4,0mm)

Rugosidade Média e DP	Ra (µm)	Rt (µm)	Ry (µm)
	3,9±1,1	24,3±7,1	20,4±7,8

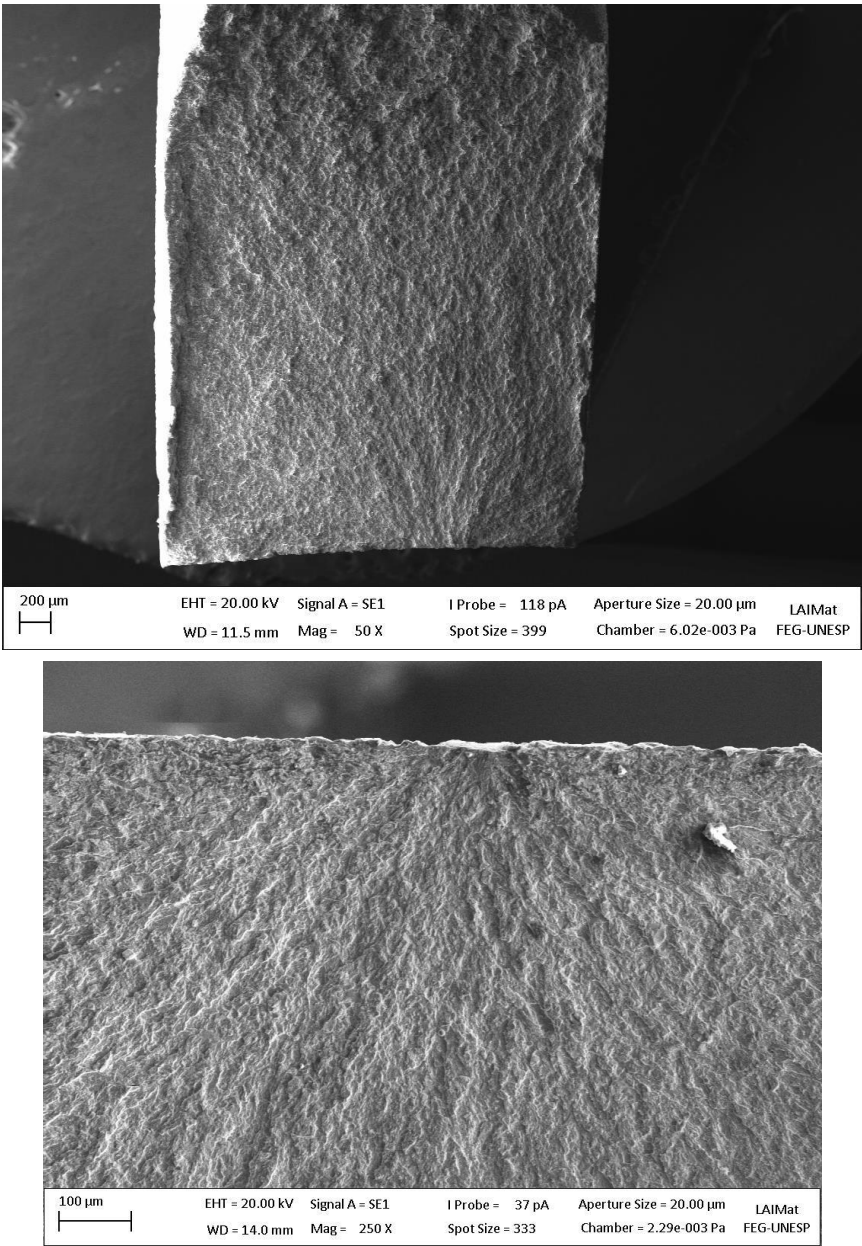
Fonte: O Autor.

Os resultados apresentados na Tabela 4 realçam a atenção e os cuidados que se deve atribuir ao acabamento superficial de componentes e estruturas submetidos a carregamentos cíclicos, concernente ao aumento da vida útil, segurança e integridade. Convém comentar que, ao contrário da rugosidade média aritmética (Ra), que uniformiza os picos e vales do campo de amostragem em torno de um valor médio, a rugosidade máxima (Ry ou R_{máx}) captura justamente a região que apresenta a maior distância entre o pico mais elevado e o vale mais profundo - seja no mesmo cut-off (Ry) ou em cut-offs distintos (Rt) -, definindo este valor como representativo da rugosidade da superfície do material. Ry e Rt, portanto, “captam” o vale mais profundo, que será determinante na nucleação da trinca de fadiga e na vida operacional do componente e da estrutura.

3.6 Análise fractográfica (MEV)

A Figura 4 apresenta as superfícies de fratura de dois corpos de prova submetidos à tensão de 650MPa e respectivos números de ciclos de 249 mil (esq.) e 323 mil (dir.). Em linhas gerais, pode-se observar o aspecto transgranular das superfícies de fratura e as regiões de nucleação e de propagação estável das trincas a partir da aresta correspondente à espessura do corpo de prova. A textura claramente identificável em ambas as superfícies de fraturas aponta para a origem da nucleação das trincas do processo de fadiga.

Figura 4: Superfícies de fraturas de corpos de prova submetido à fadiga axial na tensão de 650 MPa.



Fonte: O Autor.

4. CONCLUSÕES

O presente estudo vem apresentar informações preliminares sobre o comportamento em fadiga do aço em questão, propriedade que não é requerida pela norma API 5CT, mas que tem sido merecedora de grande atenção no setor de petróleo e gás em razão dos esforços cíclicos provenientes das vibrações induzidas por vórtices (VIV's) que podem levar à falha e/ou fratura da instalação. Do que fora apresentado, algumas conclusões podem ser destacadas:

- A curva S-N de fadiga axial revela que os parâmetros de

usinagem e a qualidade do acabamento superficial nos corpos de prova influenciam diretamente a vida em fadiga do tubo.

- As imagens da micrografia do aço API 5CT N80Q mostram microestrutura composta por ferrita acicular, ferrita poligonal e perlita, característicos do processo de laminação controlada termicamente.
- A análise fractográfica exhibe as regiões de iniciação e de propagação estável da trinca e revelam que a trinca se propagou de maneira transgranular a partir de uma única frente localizada na aresta referente à espessura do corpo de prova e que se tornou dominante.
- As medições de rugosidade dos corpos de prova antes e após ensaio e as análises macrográficas comprovam que os riscos superficiais são os principais sítios de nucleação de trincas devido ao aumento da concentração de tensão localizada.
- Os ensaios de microdureza mostram que distintos resultados entre as três regiões ao longo da espessura do tubo, sendo maior próximo ao diâmetro externo seguido da região correspondente ao diâmetro médio e, por fim, o diâmetro interno, diretamente relacionado à deformação plástica sofrida pelo material durante o processo de conformação do tubo a partir de chapas laminadas.
- A caracterização mecânica por ensaio de tração indicou uma não conformidade com a norma API. Os valores da tensão de escoamento ficaram aquém do valor de referência requerido pela norma API 5CT N80Q. O efeito Bauschinger, consequência do processo de conformação, pode ter ocasionado a diminuição do limite de escoamento do material. Contudo, o limite de resistência à tração foi maior que o requerido pela referida norma. A razão $R=0,58$ denota grande capacidade de o material deformar-se plasticamente.

AGRADECIMENTOS

Marcelino P. Nascimento agradece a FAPESP pela concessão do Auxílio Regular de Processo Número 2018/21190-6.

REFERÊNCIAS

1. A PETROBRAS AUMENTA O FOLEGO DO SETOR: a capacidade de utilização do gás brasileiro deve superar o volume importado da Bolívia em 2013. Exame, São Paulo: Abril, 2011. 119 p.
2. SILVA, M. C. Determinação experimental da tenacidade à fratura da zona termicamente afetada de junta soldada de aço API 5CT N80Q. 2009. 113 f. Tese (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica – Mecânica da Fratura) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
3. HIPPERT JR, E. Investigação Experimental do Comportamento Dúctil de Aços API-X70 e Aplicação de Curvas de Resistência $J-\Delta a$ para Previsão de Colapso em Dutos. 2004. 167 f. Tese (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.
4. AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS – ANP. Disponível em: <www.anp.gov.br> Acesso em: 12 de out.2013.
5. TSUKADA, R. I. Comportamento Dinâmico de *Riser* Rígido em Catenária Devido à Vibração Induzida por Vórtices em Águas Profundas. 2009. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Petróleo) - Faculdade de Engenharia Mecânica e Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.
6. DET NORSKE VERITAS-DNV. Submarine Pipelines Systems, Offshore Standard OS-F101, 2015.
7. BALENA, R. Estudo analítico-numérico das vibrações induzidas por vórtices em trecho vertical de *riser* rígido, sujeito à variação de tração, e sua influência na fadiga. 2010. 162 f. Tese (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
8. OLIVEIRA, J.J.M. de; Pacheco, M.T.T. A Análise de Vibrações em Tubulações de Processo e o Emprego de Diretrizes Normativas na Prevenção de Falha por Fadiga Associada a FIV. Estudo de Caso. Brazilian Journal of Development, Curitiba (ISSN: 2525-8761), v.8, n.2, p.10830-10837, feb.2022 (<https://doi.org/10.34117/bjdv8n2-158>).
9. NAZIR, M; Khan, F; Amyotte, P. Fatigue reliability analysis of deep water rigid marine risers associated with Morison-type wave loading. Stochastic environmental research and risk assessment, St. John's, v. 22, p. 379-390, 2008.
10. SHIGA, C. *et al.* Development of large diameter high strength line pipes for low temperature service.
11. GODOY J, M; Cavalheiro, B, C; Pereira, M, S. Avaliação da Fissuração por Fadiga em Tubos durante Transporte Marítimo. Revista Soldagem & Inspeção, v. 10, p. 2-10, 2010.

12. BRUNO, T. V. How to prevent transit fatigue to tubular goods. The Oil and Gas Journal. 1998.
13. BARALLA, E.; TOMMASI, C. Integrated System for Process Control of High Frequency Electric Resistance Welded Steel Pipe. In: Rio Pipeline' 2003, Rio de Janeiro/RJ, Brazil.
14. CHARLL DOS SANTOS, J. G.; Camargo, J. R. de; Soares, A. M. S.. Análise e Correção da Vibração no Helicóptero Airbus AS365 K2. Brazilian Journal of Development (ISSN: 2525-8761), Curitiba, v.7, n.12, p.111996-112013dec.2021 (<https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-134>).

CAPÍTULO 12

DATA CENTER E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

José Luiz Romero de Brito

Doutorando pelo Programa de Pós-graduação em Energia do Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo (USP)

Mestre em Administração pelo Programa Cidades Inteligentes e Sustentáveis (CIS) da Universidade Nove de Julho – UNINOVE

Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo - IEE/USP

E-mail: romero.brito@usp.br

Patrícia Helena Iara dos Santos Matai

Doutora em Engenharia Química pela Universidade de São Paulo – USP Livre-docente pela Universidade de São Paulo - USP

Professora Pesquisadora da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (POLI/USP) e do Programa de Pós-graduação do Instituto de Energia e Ambiente (IEE) da Universidade de São Paulo(USP)

Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo - IEE/USP

E-mail: pmtai@usp.br

Mario Roberto dos Santos

Doutor em Administração pelo Programa de Pós-graduação em Administração da Universidade Nove de Julho - UNINOVE

Universidade Nove de Julho - UNINOVE

E-mail: mario.rsantos@terra.com.br

RESUMO: O rápido desenvolvimento da *internet* exige que as infraestruturas de *data centers* sejam desenvolvidas em grande escala com maior capacidade de energia e também alcancem formas para a redução no consumo dessa energia e também nas emissões de carbono. O objetivo da pesquisa foi verificar na literatura como os pesquisadores estão avaliando a eficiência energética em *data centers* e quais são as soluções para a melhoria dessa eficiência. Para tanto foi realizada uma pesquisa da base de dados *ScienceDirect* utilizando as palavras “*energy efficiency and data center*” sendo encontrados 75 artigos. Os principais resultados dos artigos foram: redução do uso do ventilador do servidor; uso dos sistemas de refrigeração e ventilação; barramentos CC supercondutores de alta temperatura; algoritmo para minimizar o alto consumo de energia; algoritmo dinâmico de agendamento de tarefas online; modelo de consumo de energia dinâmico acoplado incluindo dispositivos de TI e de refrigeração; melhorar a distribuição do fluxo de ar; sistema combinado de resfriamento, aquecimento e energia; sistema de resfriamento de tubo de calor integrado; uso de energias renováveis; desligando e ligando portas da rede.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética; *Data Center*; Consumo De Energia; Tecnologia Da Informação.

ABSTRACT: The rapid development of the internet requires data center infrastructures to be developed on a large scale with greater energy capacity and also reach ways to reduce energy consumption and carbon emissions. The aim of research was to verify

in the literature how researchers are evaluating energy efficiency in data centers and what are the solutions to improve this efficiency. For that, a search of the ScienceDirect database was carried out using the words “energy efficiency and data center” and 75 articles were found. The main results of the articles: reduced server fan usage; use of refrigeration and ventilation systems; high temperature superconducting DC buses; algorithm to minimize high power consumption; dynamic algorithm online task scheduling; dynamic coupled power consumption model including IT and cooling devices; improve airflow distribution; combined cooling, heating and power system; integrated heat pipe cooling system; use of renewable energies; turning off and on network ports.

KEYWORDS: Energy Efficiency; Data Center; Energy Consumption; Information Technology.

1. INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento da *internet* exige que as infraestruturas de *data centers* sejam desenvolvidas em grande escala com maior capacidade de energia e também alcancem formas para a redução no consumo dessa energia e também nas emissões de carbono (SHAO *et al.*, 2022), pois os *data centers* emitem dióxido de carbono (CO₂) aproximadamente equivalente ao setor aéreo (REDDY *et al.*, 2022).

Segundo o Synergy Research Group (2021) o número de grandes *data centers* alcançou 700 no final do terceiro trimestre de 2021 e as previsões mostram um crescimento rápido e contínuo. São previstos 314 novos *data centers* e a base instalada ultrapassará a marca de 1.000 em três anos e continuará crescendo rapidamente (SYNERGY, 2022). Portanto é de grande importância reduzir o consumo de energia, o custo de capital e as emissões de carbono, garantindo a operação segura e confiável do *data center* (SHAO *et al.*, 2022).

Não há um consenso sobre o consumo de energia em *data centers*, por exemplo Masanet *et al.* (2020) citaram que, dado que os *data centers* são empresas de uso intensivo de energia, estimadas em cerca de 1% do uso mundial de eletricidade, causando implicações claras para a demanda global de energia. Mencionaram também que várias análises frequentemente citadas, afirmaram que a energia usada pelos *data centers* do mundo dobrou na última década e que triplicará ou até quadruplicará na próxima década. Uma outra perspectiva, segundo Peng *et al.* (2022), é que os *data centers* correm o risco de dobrar o consumo de energia a cada cinco anos. Conforme Li *et al.* (2022), durante a última década, o consumo de energia dos *data centers* foi responsável por 2,4% do consumo total de eletricidade em todo o mundo e estimaram que o consumo esteja aumentando entre 15% e 20% ao ano. Já, na visão de Liu *et al.* (2020) os *data centers* se tornarão os maiores usuários mundiais de consumo de energia, com a proporção subindo de 3% em 2017 para 4,5% em 2025.

Apesar de não haver concordância, todas as previsões apresentadas mostraram crescimento do consumo de energia nesse segmento. Com o consumo de energia dos *data centers* em expansão em conjunto com a rápida ascensão da economia digital, esse problema têm atraído grande atenção da sociedade no sentido de realizar a conservação de energia e a redução das emissões (LONG *et al.*, 2022). Além dessas crescentes preocupações com impactos ambientais, as preocupações com os custos de eletricidade também estão aumentando (TIAN *et al.*, 2021). Melhorar

a eficiência energética dos *data centers* tornou-se um importante tópico de investigação e os pesquisadores estão trabalhando para desenvolver metodologias e métricas práticas de avaliação da eficiência energética para atingir esse objetivo (LONG *et al.*, 2022). Portanto, é um foco importante para os pesquisadores acadêmicos e para as indústrias otimizar o consumo de energia em *data centers* (REDDY *et al.*, 2022).

Nesse contexto, da avaliação da eficiência energética ser um importante tópico de pesquisa e de desenvolvimento de metodologias e métricas (LONG *et al.*, 2022) e um foco importante para os pesquisadores acadêmicos e para as indústrias otimizar o consumo de energia (REDDY *et al.*, 2022), estabeleceu-se a seguinte questão de pesquisa: quais são as soluções apresentadas pelos pesquisadores para a melhoria da eficiência energética em *data centers*? Para atender esse objetivo, foi verificado na literatura acadêmica os artigos publicados sobre eficiência energética.

Dessa forma espera-se contribuir com a teoria e com a prática, apresentando pesquisas recentes sobre o tema e quais as medidas práticas sugeridas pelos pesquisadores aliando teoria e prática na busca da melhoria da eficiência energética em *data centers*.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: após esta introdução, a seção dois apresentará a fundamentação teórica; a seção três, o método de pesquisa empregado; a seção quatro, os resultados e as discussões e a seção cinco, as conclusões.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um *data center* é o local onde as informações são processadas, armazenadas, transmitidas, trocadas e gerenciadas. É uma combinação de *sites*, ferramentas e processos que centralizam, integram, compartilham e analisam sistemas de negócios e recursos de dados e é o centro da infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI) (SHAO *et al.*, 2022).

Com o rápido progresso das tecnologias baseadas na internet, como *cloud computing*, *big data*, *internet das coisas* (IOT), inteligência artificial entre outras, as indústrias globais, governos, organizações e instituições estão cada vez mais confiando na operação ininterrupta de *data centers* para realizar com sucesso seus objetivos do dia-a-dia (CHEN *et al.*, 2022). Com o avanço dessas tecnologias, o

tráfego em *data centers* está crescendo rapidamente e previu-se que o tráfego global aumentaria de 6 zettabytes (ZB) em 2016 e atingiria 19,5 ZB no ano de 2021 (MATERWALA; ISMAIL, 2022).

Os *data centers* contêm grandes quantidades de equipamentos de TI, como computadores, *storages*, *racks*, elementos de rede, além de dispositivos suplementares, como monitores e estações de trabalho (CHEN *et al.*, 2022). O consumo de energia do *data center* pode ser decomposto em sistema de equipamentos de TI (50%, incluindo servidores, equipamentos de armazenamento e equipamentos de rede), sistemas de ar condicionado e refrigeração (37%, sendo sistema de refrigeração a ar em torno de 25% e sistema de alimentação e retorno de ar cerca de 12%), sistema de distribuição (10%) e sistema de iluminação auxiliar (3%) (LIU *et al.*, 2020). Por exemplo *cloud computing*, um sistema que fornece serviços multicamadas (infraestrutura, plataforma e *software*) aos usuários por meio da *internet*, sem gerenciamento ativo direto pelos usuários (GUO *et al.*, 2022), consome mais energia do que a maioria dos países e seria considerado o quinto maior país em termos de consumo de energia (ARSHAD *et al.*, 2022).

Nesse contexto, o impacto ambiental dos *data centers* está se tornando uma preocupação na Europa e no mundo, impactos provocados, por exemplo pela energia incorporada associada a fabricação de servidores; consumo de energia durante a operação; descarte inadequado no fim da vida útil (BASHROUSH *et al.*, 2022). O setor de centros de dados Europeus fez avanços em direção ao aumento da sustentabilidade de várias maneiras. Como exemplo, os acordos sobre as melhores práticas abrangendo compromissos com a eficiência energética, energia 100% livre de carbono, conservação da água, reutilização e reparo de servidores e reciclagem de calor (RTEIL *et al.*, 2022).

Outra aplicação que demanda grande quantidade de energia da operação em *data center* é o metaverso, que Dwivedi *et al.* (2022) conceituaram como o recurso tecnológico, que possibilita estender o mundo físico usando tecnologias de realidade aumentada e virtual, permitindo que os usuários interajam em ambientes reais e simulados usando avatares e hologramas.

Existem diferentes pensamentos sobre a contribuição do metaverso para a sustentabilidade, levando-se em consideração de que a sustentabilidade é uma prioridade que está na agenda global, nos âmbitos pessoais, corporativos e governamentais. Por um lado, afirma-se que a aversão ao encontro físico, minimizará

a pegada de carbono, reduzindo as viagens de avião, trem e automóveis para reuniões e passeios turísticos. Também aumentaria a produtividade do trabalho, eliminando viagens e outros consumos de recursos relacionados. Outra perspectiva é que o metaverso, juntamente com o aumento do uso de *token* não fungível (NFTs) e o crescimento da base de usuários, envolverá alto poder computacional e alta velocidade de banda larga. Isso aumentará o consumo de energia, principalmente de fontes não renováveis (DWIVEDI *et al.*, 2022).

A eficiência energética deve ser seriamente considerada para esses dispositivos que suportam inúmeras demandas de fluxo de rede em tempo real (WANG *et al.*, 2022). As métricas de avaliação de eficiência energética são consideradas um método eficaz para avaliar a eficiência energética de *data centers* e têm sido amplamente utilizadas por muitos anos (SHAO *et al.*, 2022).

A métrica *Power Usage Effectiveness* (PUE) foi introduzida em 2006 por Malone e Belady (2006). The Green Grid, uma organização sem fins lucrativos de profissionais de TI, que fornece recomendações sobre práticas, métricas e tecnologias projetadas para melhorar a eficiência geral de *data centers*, recomendou o uso da métrica (The Green Grid, 2007). Essa medida tornou-se a métrica mais comumente usada para relatar a eficiência energética de *data centers* (BRADY *et al.*, 2013).

O índice de eficiência no uso de energia ou PUE é a relação entre o consumo geral de energia do *data center* e o consumo dos equipamentos de TI (MALONE; BELADY, 2006), conforme mostrado na Equação 1. Quanto mais próximo o PUE estiver de 1, maior será a eficiência do *data center* (CHOI *et al.*, 2022):

$$PUE = (\text{Energia total consumida pelo } data\ center) / (\text{Consumo de energia dos equipamentos de TI})$$
 (Equação 1)

Para atingir um PUE baixo, a economia de energia no sistema de refrigeração é essencial. Para reduzir a energia do sistema de resfriamento, várias tecnologias de última geração estão sendo aplicadas a *data centers* recém-construídos. No entanto, aumentar a eficiência energética dos *data centers* existentes é difícil porque as características do *data center* são difíceis de remodelar (CHOI *et al.*, 2022).

3. MÉTODO

Pesquisa descritiva, por meio de abordagem qualitativa e utilizando análise de conteúdo (BARDIN, 2009). A revisão de literatura é uma característica de uma

pesquisa acadêmica (WEBSTER; WATSON, 2002) e é um recurso importante de qualquer projeto de pesquisa (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003).

Foram realizadas pesquisas na base de dados *ScienceDirect* utilizando-se as palavras “*energy efficiency and data center*” referentes ao período 2012-2022. Essa base foi escolhida por ter periódicos relevantes, classificados no extrato Qualis A1 (2013-2016) da Plataforma Sucupira da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes, 2022), alto fator de impacto, como, por exemplo *Applied Energy* (11.446), *Energy* (8.857), *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (16.799) entre outros, e, também, por facilidade de acesso. A pesquisa foi realizada em agosto de 2022.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados na pesquisa da base *ScienceDirect* 75 artigos referentes às palavras “*energy efficiency and data center*” no período 2012-2022. O ano de 2022, até a data pesquisada, apresentou a quantidade de 32 artigos, isto é, 42,7% dos artigos publicados e no ano de 2021 foram publicados 13 artigos (17,3%), o que mostra o aumento dos interesses acadêmicos sobre o tema dentro da base pesquisada.

Serão apresentados a seguir alguns dos principais resultados dos artigos mais recentes referentes aos modelos e formas propostas para a redução do consumo de energia em *data centers*.

Várias estratégias foram propostas para reduzir o consumo de energia dos sistemas de refrigeração de *data centers* e geralmente podem ser divididas em abordagens de *hardware* ou *software*. Essas estratégias sugerem arranjo eficiente de equipamentos de TI e sistemas de refrigeração, uso de sistemas de contenção, introdução de equipamentos de TI e sistemas de refrigeração de alta eficiência, melhoria de sistemas de distribuição de fluxo de ar e utilização do ar externo usando o modo econômico (CHOI *et al.*, 2022). Ma e Ding (2022) também citaram que os dispositivos de refrigeração e de TI são os principais dispositivos de consumo de energia do *data center*. Os autores propuseram um método para avaliação do consumo de energia de *data center* de computação em nuvem baseado no mecanismo de aprendizado por reforço e utilizaram o *Deep Deterministic Policy Gradient Algorithm* para otimizar o modelo.

Outra estratégia é o uso de fontes de energia renováveis e o aproveitamento dessas fontes localmente, como, por exemplo energia solar e eólica, pois oferecem amplas oportunidades no desenvolvimento de *data centers* ecologicamente corretos e energeticamente eficientes (PENG *et al.*, 2022). Note-se que a energia solar fotovoltaica tornou-se uma das formas mais empregada de geração de eletricidade renovável no mundo (SANTOS; BRITO; SHIBAO, 2022). Dessa forma, para fins de conservação de energia e redução de emissões de gases de efeito estufa (GEE), os *data centers* podem usar energia renovável para substituir a energia baseada em combustível fóssil. Como a maioria das fontes de energia renovável, são intermitentes, instáveis e imprevisíveis, usar a energia renovável para alimentar *data centers* é particularmente desafiador. Para corrigir esses problemas, diferentes tipos de tecnologias de armazenamento de energia serão necessários para manter a estabilidade do fornecimento de energia (CHEN *et al.*, 2022).

Por outro lado Mahbod *et al.* (2022) citaram que o principal contribuinte para a economia de energia em um *data center* é a redução do uso do ventilador do servidor e não a redução do consumo de energia de resfriamento. Para reduzir o consumo de energia de resfriamento, recomenda-se que os *data centers* aumentem os pontos de ajuste de temperatura de entrada do servidor. No entanto, em climas tropicais, os operadores de *data centers* têm a necessidade de operarem em temperaturas mais baixas (MAHBOD *et al.*, 2022).

Para Wang *et al.* (2022) a conservação de energia da rede pode ser alcançada otimizando o roteamento e o agendamento de fluxo com reconhecimento de energia, visando desligar o maior número possível de dispositivos de rede ociosos e com pouca carga.

Os *data centers* existentes precisam ser adaptados para reduzir o custo do consumo de energia dos sistemas de refrigeração e ventilação para poder atingir zero emissões líquidas. A distribuição térmica em *data centers* demonstraram que a eficiência do resfriamento é principalmente associado com a distribuição do fluxo de ar e a estrutura térmica resultante (KUZAY *et al.*, 2022). Essa afirmação é corroborada por Jin, Bai e Yang (2019) que citaram que o fluxo do ar é crucial para *data centers* refrigerados a ar, pois o caminho do fluxo e a distribuição influencia o ambiente térmico e a eficiência energética de *data centers* de piso elevado.

An e Ma (2022) sugeriram que a modelagem do consumo de energia do *data center* é a base para realizar o gerenciamento eficiente de energia e participar da

integração de sistemas de energia. No entanto, os métodos de modelagem estática existentes são difíceis de analisar o problema do consumo de energia em tempo real e as características de transferência de calor do *data center*. Para resolver esses problemas, recomendaram utilizar um modelo de consumo de energia acoplado dinâmico incluindo os dispositivos de TI e os dispositivos de refrigeração.

Para superar os desafios dos impactos ambientais, custos e necessidade crescente de energia, o *data center* precisa integrar tecnologias de alta eficiência e ecologicamente corretas para solucionar esses problemas. O sistema combinado de resfriamento, aquecimento e energia refere-se à geração síncrona de eletricidade e energia para aquecimento e resfriamento por meio da conversão de várias energias, que pode resolver muitos dos desafios do *data center* (TIAN *et al.*, 2021).

Outra abordagem foi proposta por Chkirbene *et al.* (2018), considerando-se que os dispositivos de rede de TI são projetados para o caso de utilização total da rede mas raramente é atingida. Consequentemente, muitos dispositivos são colocados em estado ocioso e causando um enorme desperdício de energia. Os autores propuseram controlar dinamicamente o número de *links* de comunicação ativos, desligando e ligando portas da rede (portas de *switch* e portas de nós) reduzindo o consumo de energia.

Assim, para controlar e melhorar a eficiência, Shao *et al.* (2022) apresentaram um estudo da revisão das métricas de avaliação de eficiência energética de *data centers* e as classificaram de acordo com suas ênfases. As vantagens, escopo de aplicação, correlações e limitações de cada métrica foram analisadas qualitativamente para avaliar suas funções na melhoria da eficiência energética nos *data centers*.

5. CONCLUSÃO

O objetivo da pesquisa foi responder a questão de pesquisa: quais são as soluções apresentadas pelos pesquisadores para a melhoria da eficiência energética em *data centers*? Para isso foi verificado na literatura acadêmica os artigos publicados sobre eficiência energética.

As pesquisas apresentaram diversas sugestões para redução do consumo de energia e também dos impactos ambientais em *data centers*, como, por exemplo: redução do uso do ventilador do servidor; uso dos sistemas de refrigeração e ventilação; barramentos CC supercondutores de alta temperatura; algoritmo para

minimizar o alto consumo de energia; algoritmo dinâmico de agendamento de tarefas *online*; modelo de consumo de energia dinâmico acoplado incluindo dispositivos de TI e de refrigeração; melhorar a distribuição do fluxo de ar; sistema combinado de resfriamento, aquecimento e energia; sistema de resfriamento de tubo de calor integrado; uso de energias renováveis; desligando e ligando portas da rede; métricas para avaliação energética, entre outras.

A demanda para reduzir o consumo de energia do *data center* tem aumentado. Novos *data centers* que incorporam tecnologias mais recentes podem atingir uma melhor eficiência do uso de energia, mas para melhorar a eficiência energética de um *data center* existente, é necessário um método de economia de energia que seja simples de aplicar e utilize os recursos fornecidos da maneira mais eficiente possível (CHOI et al., 2022).

A indústria de *data centers* é responsável pelo desenvolvimento de padrões de avaliação de eficiência energética. A eficiência energética foi aprimorada até certo ponto graças aos esforços combinados de várias partes interessadas. No entanto, operadores de *data centers*, tomadores de decisão e acadêmicos devem manter seus esforços diante do aumento do uso de energia. No futuro deve-se esforçar mais em modelagem de eficiência energética, tecnologias de economia de energia, promoção de critérios de avaliação de eficiência energética e utilização de recursos renováveis para criar *data centers* verdes mais sustentáveis (LONG et al., 2022).

Rteil et al. (2022) advertiram que ao executar um programa de atualização, é importante realizar pesquisas sobre quais máquinas estão tendo o pior desempenho, quais soluções estão disponíveis para substituição e quais são as projeções de custo e energia para isso. Compreender as propriedades de cada servidor, medir o desempenho e comparar com um banco de dados completo de marcas e modelos independentemente de fornecedor, é essencial para os resultados finais e também para reduzir o impacto ambiental.

Uma contribuição prática desta pesquisa é a divulgação de processos sobre as possíveis melhorias de controle de consumo de energia por meio, por exemplo, de métricas; de atualização de métodos e *design*; de integração de tecnologias e contribuindo também na redução dos impactos ambientais. Segundo Shao et al. (2022) o desenvolvimento verde dos *data centers* se tornou uma tendência inevitável e os gestores poderão selecionar as métricas apropriadas de acordo com as diferentes funções para otimizar o *design*.

Portanto verifica-se que o caminho para projetar e construir *data centers* que consumam pouca energia e tenham nenhum ou pouco impacto ambiental ainda é muito longo e dependerá de muitas investigações pois as pesquisas mostraram que os *data centers* continuarão em expansão causados pelo crescimento da demanda e com o consequente aumento de consumo de energia, proporcionando um vasto campo para pesquisas e desenvolvimentos tanto na academia quanto na indústria.

Os resultados apresentados são limitados pois foi utilizada somente uma base de dados (*ScienceDirect*) restringindo as conclusões aqui descritas. Sugere-se para as próximas pesquisas a utilização de outras bases e sejam comparadas com os resultados aqui encontrados.

REFERÊNCIAS

AN, H.; MA, X. Dynamic coupling real-time energy consumption modeling for data centers. *Energy Reports*, v. 8, sup. 10, p. 1184-1192, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.06.085>.

ARSHAD, U. *et al.* Utilizing power consumption and SLA violations using dynamic VM consolidation in cloud data centers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 167, 112782, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112782>.

BARDIN, L. *Análise de conteúdo*, (5a ed.). Lisboa: Edições 70. Lda, 2009.

BASHROUSH, R. *et al.* Optimizing server refresh cycles: the case for circular economy with an aging Moore's Law. *IEEE Transactions on Sustainable Computing*, v. 7, n.1, p.189-200, 2022. <https://doi.org/10.1109/TSUSC.2020.3035234>

BRADY, G. A. *et al.* A case study and critical assessment in calculating power usage effectiveness for a data centre. *Energy Conversion and Management*, v. 76, p. 155-161, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.07.035>.

CAPES - COORDENAÇÃO DE APERFEIÇOAMENTO DE PESSOAL DE NÍVEL SUPERIOR. (2022). *Plataforma Sucupira*. Disponível em: <<https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/veiculoPublicacaoQualis/listaConsultaGeralPeriodicos.jsf>>. Acesso em: 16 Ago. 2022.

CHEN, X. *et al.* A 10 MW class data center with ultra-dense high-efficiency energy distribution: Design and economic evaluation of superconducting DC busbar networks. *Energy*, v. 250, 123820, p. 1-17, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123820>.

CHKIRBENE, Z. *et al.* Efficient techniques for energy saving in data center networks. *Computer Communications*, v. 129, p. 111-124, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2018.07.025>.

CHOI, Y. J. *et al.* Development of an adaptive artificial neural network model and optimal control algorithm for a data center cyber-physical system. *Building and Environment*, v. 210, 108704, p. 1-17, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108704>.

DWIVEDI, Y. K. *et al.* Metaverse beyond the hype: multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, v. 66, 102542, p. 1-55, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542>.

GUO, C. *et al.* Energy management of internet data centers in multiple local energy markets. *Electric Power Systems Research*, v. 205, 107760, p. 1-12, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2021.107760>.

JIN, C.; BAI, X.; YANG, C. Effects of airflow on the thermal environment and energy efficiency in raised-floor data centers: A review. *Science of The Total Environment*, v. 695, 133801, p. 1-17, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133801>.

KUZAY, M. et al. Retrofitting of an air-cooled data center for energy efficiency. *Case Studies in Thermal Engineering*, v. 36, 102228, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2022.102228>.

LI, X. et al. Energy-aware cloud workflow applications scheduling with geo-distributed data. *IEEE Transactions on Services Computing*, v. 15, n. 2, p. 891-903, 2022. <https://doi.org/10.1109/TSC.2020.2965106>.

LIU, Y. et al. Energy consumption and emission mitigation prediction based on data center traffic and PUE for global data center. *Global Energy Interconnection*, v. 3, n. 3, p. 272-282, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.gloi.2020.07.008>.

LONG, S. et al. A review of energy efficiency evaluation technologies in cloud data centers. *Energy and Buildings*, v. 260, 111848, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111848>.

MA, H.; DING, A. Method for evaluation on energy consumption of cloud computing data center based on deep reinforcement learning. *Electric Power Systems Research*, v. 208, 107899, p. 1-7, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.107899>.

MAHBOD, M. H. B. et al. Energy saving evaluation of an energy efficient data center using a model-free reinforcement learning approach. *Applied Energy*, v. 322, 119392, p. 1-14, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.119392>.

MALONE, C.; BELADY, C. Metrics to characterize data center & IT equipment energy use. In: *Proceedings of the Digital Power Forum*. Richardson, TX, USA; 2006.

MASANET, E. et al. Recalibrating global data center energy-use estimates. *Science*, v. 367, n. 6481, p. 984-986, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.aba3758>.

MATERWALA, H.; ISMAIL, L. Performance and energy-aware bi-objective tasks scheduling for cloud data centers. *Procedia Computer Science*, v. 197, p. 238-246, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.12.137>.

PENG, X. et al. Exploiting renewable energy and UPS systems to reduce power consumption in data centers. *Big Data Research*, v. 27, 100306, p. 1-12, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2021.100306>.

REDDY, K. H. K. et al. Towards energy efficient Smart city services: A software defined resource management scheme for data centers. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, v. 35, 100776, p. 1-9, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2022.100776>.

RTEIL, N. et al. Interact: IT infrastructure energy and cost analyzer tool for data centers. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, v. 33, 100618, p. 1-10, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.suscom.2021.100618>.

SANTOS, M. R.; BRITO, J. L. R; SHIBAO, F. Y. Academic approach on solar photovoltaic energy in Brazil. *Scientific Journal of Applied Social and Clinical Science*, v. 2, n. 21, p 1-12, 2022. <https://doi.org/10.22533/at.ed.2162212220104>.

SHAO, X. *et al.* A review of energy efficiency evaluation metrics for data centers. *Energy and Buildings*, v. 271, 112308, p. 1-19, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112308>.

SYNERGY RESEARCH GROUP. *Pipeline of over 300 new hyperscale Data Centers drives healthy growth forecasts*. Reno, NV, March 23: 2022. Disponível em: < Pipeline of Over 300 New Hyperscale Data Centers Drives Healthy Growth Forecasts | Synergy Research Group (srgresearch.com)>. Acesso em: 16 Ago. 2022.

SYNERGY RESEARCH GROUP. *Hyperscale Data Center capacity doubles in under four years; the US still accounts for half*. Reno, NV, November 17: 2021 Disponível em: <<https://www.srgresearch.com/articles/as-hyperscale-data-center-capacity-doubles-in-under-four-years-the-us-still-accounts-for-half-of-the-total>>. Acesso em: 16 Ago. 2022.

THE GREEN GRID. *Green grid metrics: describing datacenter power efficiency*. 2007. Disponível em: <https://leonardo-energy.pl/wp-content/uploads/2018/03/Green_Grid_Metrics.pdf>. Acesso em: 20 Out. 2022.

TIAN, Q. *et al.* Robust optimal energy management of data center equipped with multi-energy conversion technologies. *Journal of Cleaner Production*, v. 329, 129616, p. 1-13, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129616>.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003. <https://doi.org/10.1111/14678551.00375>.

WANG, Y. *et al.* Towards an energy-efficient Data Center Network based on deep reinforcement learning. *Computer Networks*, v. 210, 108939, p. 1-10, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2022.108939>.

WEBSTER, J.; WATSON, R. T. Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review. *MIS Quarterly*, v. 26, n. 2, p. 13-23, 2002.

CAPÍTULO 13

A GEOMETRIA UTILIZADA COMO INSTRUMENTO DE CONCEPÇÃO PROJETUAL

Mônica Maria Fernandes de Lima

Doutora

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Rua Teatrólogo Meira Pires, 1993, Cond. Parque das Rosas, Bloco B, Apto. 203

E-mail: monicamfl@gmail.com

RESUMO: Uma integração entre as áreas de representação e de projeto. Pesquisa originada a partir da constatação das dificuldades de percepção espacial apresentadas por uma parte significativa dos alunos ingressantes nos cursos de Arquitetura e Urbanismo em geral e, em especial no da UFRN. Essa problemática deveria ser trabalhada de modo interdisciplinar nas áreas de representação e linguagem e de projeto de arquitetura; no entanto, a atual fragmentação dos conteúdos curriculares dificulta esta integração, em especial no que diz respeito à geometria e as disciplinas iniciais de projeto. Pretende-se otimizar a relação ensino/aprendizagem através da associação do ensino de geometria ao de projeto, e da utilização de métodos/técnicas condizentes com os avanços contemporâneos na área. Decidiu-se buscar caminhos que pudessem facilitar o desenvolvimento da percepção espacial e formal dos alunos. Têm-se como objetivos: 1. Aprofundar os estudos acerca das ferramentas de ensino/aprendizagem da geometria; 2. Aplicar os instrumentos de verificação da influência da geometria na percepção espacial, e 3. Desenvolver instrumentos de verificação da aplicação do conhecimento geométrico na concepção da forma. Conclui-se com a indicação do direcionamento do ensino da geometria de forma a torná-lo aplicado à arquitetura e ao urbanismo.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Geometria; Ensino de Projeto; Integração.

ABSTRACT: Integration between the areas of representation and project designing. This research originated from the struggle upon spatial perception by a significant fraction of the student body in the early stages of the Architecture and Urbanism course, especially at the UFRN. We should approach this subject from an interdisciplinary perspective within the areas of lingual representation and architectural project design; although, the current fragmentation of the curricular structure difficult this kind of integration, especially regarding geometry and the initial architectural projects subjects. It aims to optimize the teaching/learning relation by associating geometry studies with architectural project studies, and by the utilization of the methods/techniques that are up to today's contemporary advances. It pursues ways that could aid the development of the student's spatial and formal perceptions. The goals are to (1.) Deepen the studies around the tools of geometry teaching/learning; (2.) Apply the instruments that verify the influence of geometry on spatial perception; and (3.) Develop tools that can verify the appliance of geometric knowledge upon the conceptions of form. It concludes with a sign of direction to geometry teaching so it applies to architecture and urbanism.

KEYWORDS: Teaching of Geometry; Project Teaching; Integration.

1. INTRODUÇÃO

O presente artigo sintetiza o tema desenvolvido nos primeiros capítulos da tese “A dobra que referencia a geometria e desdobra a forma: um estudo exploratório da dobracomoinstrumento de auxílio à percepção espacial e à concepção do projeto arquitetônico”. No qual foram abordados os pontos: 1. A geometria e as técnicas de dobradura; 2. A geometria aplicada à arquitetura; 3. Traçados reguladores da Arquitetura; 4. A geometria e a percepção espacial; 5. Concepção e processos de projeto e 6. Ensino de projeto de arquitetura.

O paradigma da complexidade de Edgar Morin contextualiza os avanços da geometria engajada em uma visão dialógica e a priorização das suas relações e interdependências com os momentos históricos, culturais, e filosóficos, atualizando esta área de aprendizagem e buscando o conceito geral de transdisciplinaridade. Neste sentido deve-se

Vitalizar o estudo da Geometria na universidade, propondo uma análise integrada em seus contextos históricos, culturais, filosóficos, sociais e políticos, eliminando a visão insular com que são trabalhados estes conteúdos nos cursos de graduação, é uma necessidade que sugere uma reflexão atenta na elaboração curricular dos programas e na forma de trabalho pedagógico praticada nos cursos acadêmicos (Diligenti, 2006, p.52).

As autoras Santos e Leal (2021) corroboram o pensamento de Morin quando criticam a forma isolada do ensino da geometria, se referindo as dificuldades de compreensão da tridimensionalidade dos alunos do Ensino Médio provenientes de lacunas do Ensino Básico. Percebemos que este problema também ocorre no Ensino Superior, portanto concordamos com a vitalização do estudo da geometria apontada por Diligenti (2006).

... A forma como é ensinada a geometria, sem analogias aos demais conteúdos, torna-a um conteúdo isolado dos demais conteúdos estruturantes, e torna o entendimento dos conceitos e propriedades um pouco complicados. Também, é visível a fragmentação existente entre a geometria plana e espacial, o que não deve ocorrer, por estarmos imersos em um mundo dinâmico, visível, e que não faz sentido separá-las pela necessidade constante da inter-relação entre ambas, e que facilita o desenvolvimento do pensamento geométrico para resolver situações da vida que forem geometrizadas (SANTOS e LEAL, 2021, pp. 10657- 10658).

Na 1ª mostra nacional de boas práticas pedagógicas no ensino de arquitetura e urbanismo, Silveira (2008) apresenta alguns problemas relacionados à forma tradicional do ensino da geometria descritiva, tais como: a abordagem do conteúdo é normalmente dissociada da arquitetura e sua prática profissional; a disciplina é de

figuras geométricas isoladas, e bibliografia disponível de difícil apreensão. Estes fatores estimularam o autora experimentar outras alternativas.

Para a apresentação de cada conteúdo do programa são usados, hoje, exemplos que simulam situações enfrentadas na profissão. Para apresentar a classificação de planos e retas, por exemplo, são usados modelos tridimensionais que poderiam se tornar objetos arquitetônicos. Em interseções de planos são trabalhados desafios para soluções de coberturas. No estudo de sombra são usadas plantas e fachadas, antecedendo desafios que serão aprofundados em bioclimática. (Silveira, 2008, p.35)

Na mesma mostra, outras experiências se destacaram, o ‘ensino integrado’ (Menezes; Lamounier, 2008), ‘estratégias no ensino de projeto’ (Pina, 2008), relações com o ensino (Lima, 2008). O último texto comenta:

a utilização da modelagem tridimensional no ensino da geometria gráfica tem auxiliado de maneira significativa o desenvolvimento da capacidade de percepção visual e aumentado, por conseguinte, a assimilação dos conteúdos da geometria gráfica. Assim como o uso da ferramenta computacional e da técnica japonesa – origami tem despertado no aluno o interesse pelo estudo da espacialidade. A integração entre os alunos também tem ocorrido de maneira bastante eficaz através de gincanas e dos exercícios tradicionais desenvolvidos em sala. (Lima, 2008, p.43).

O ensino de geometria plana pode ser dinamizado por meio do emprego dos planos seriados de Wong, revelando que o desenho geométrico pode (e deve) ser usado para a concepção formal. Na podem-se perceber os conteúdos da geometria plana utilizados para a composição das volumetrias, tais como: concordância entre retas e curvas, concordância entre várias curvas, arcos, e a operação geométrica homotetia.

Figura 1: Planos seriados



Fonte: Lima, 2011.

Dias (2012) relata uma experiência prática de ensino focada na compreensão da forma tridimensional para fins projetuais. Neste estudo, têm-se um exemplo de renovação do ensino da geometria descritiva,

(...) como área relacionada ao processo de concepção e representação do projeto arquitetônico e introduz a educação do olhar como estratégia de compreender as formas arquitetônicas caracterizando a volumetria do espaço físico (arquitetônico, urbano, paisagístico), através dos poliedros e suas relações. (Dias, 2012, p.236).

As ferramentas computacionais utilizadas no ensino das geometrias favorecem o processo de ensino/aprendizagem quando possibilitam a construção de desenhos de objetos e configurações geométricas a partir das propriedades que os definem. Não se pode prescindir, no entanto, da atividade manual e lúdica, uma vez que esta facilita a aprendizagem através da maleabilidade que permite ao aluno realizar um processo de aquisição de conteúdos partindo do concreto para chegar ao abstrato, enquanto que a ludicidade desperta o interesse.

Portanto, diante das questões levantadas, para a atualização do ensino de geometria nos cursos de arquitetura indica-se o paradigma da complexidade de Edgar Morin, e que este seja ministrado de forma integrada ao ensino do projeto arquitetônico. Assim sendo, a prática de ensino de geometria torna-se voltada para a compreensão da tridimensionalidade, fato que contribui com as atividades projetuais.

2. A GEOMETRIA E AS TÉCNICAS DE DOBRADURA

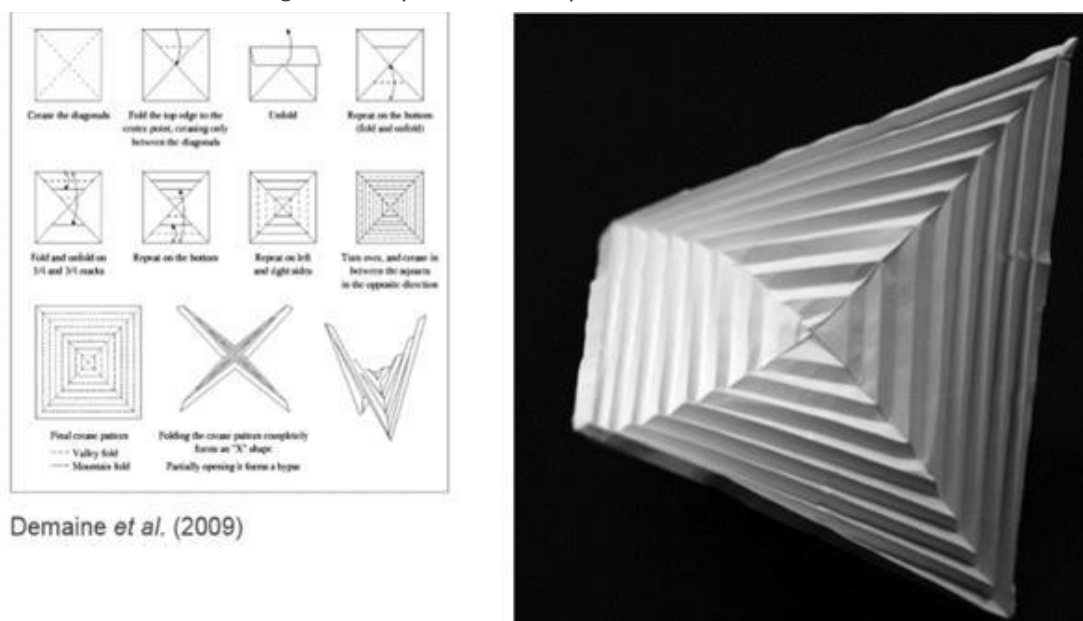
A geometria do origami tem sido investigada por origamistas, professores, matemáticos, cientistas e artistas. Estes alicerçados pela geometria euclidiana definiram axiomas e teoremas, e através de algoritmos desenvolveram o origami computacional.

Ao estudar o origami Robert Lang, físico norte-americano e origamista, percebeu que existem interseções entre origami, matemática e ciência. Há três categorias decorrentes destas interseções classificadas pelo mesmo como: Origami matemática: descreve as leis básicas de origami; Origami computacional: algoritmos e teoria dedicada à solução de problemas, e Origami tecnologia: dobradura para a solução de problemas que surgem em engenharia, design industrial, e tecnologia em geral.

Como se pode observar na Figura 2, parte-se de uma simples superfície

(quadrado de papel), à esquerda, e chega-se, por meio de dobraduras, a obter uma superfície curvada, à direita. Thomas C. Hull (2012, s.p.), professor de matemática da *Western New England University*, aprova o pensamento de Robert Lang ao afirmar que “[...] o processo de dobrar papel pode ser explorado e modelado com geometria, álgebra, teoria dos números, análise combinatória, teoria dos gráficos, cálculo, álgebra linear, e muitos outros ramos da matemática [...]”¹.

Figura 2: O paraboloide hiperbólico desdobrável.



Fonte: SCHENK, 2012.

Akira Yoshizawa (1911-2005), artista considerado o mestre do origami, também estabelece uma relação entre a arte do origami e várias outras áreas do conhecimento, fato confirmado através de suas próprias palavras: “Minhas criações de origami, de acordo com as leis da natureza, requerem o uso de geometria, ciência e física. Eles também englobam religião, filosofia e bioquímica. (...) a possibilidade de criação de papel é infinita”.²

Assim sendo, podem-se explorar técnicas de dobraduras como uma metodologia que possibilita a interdisciplinaridade e favorece a compreensão da espacialidade, ou seja, o desenvolvimento da percepção espacial.

3. A GEOMETRIA APLICADA À ARQUITETURA

Em um breve relato pretende-se mostrar como ao longo da história da arquitetura “a geometria sempre foi um instrumento que permitiu aos arquitetos, de

muitas maneiras diversas, unir a criatividade do processo de projeto, com as necessidades estruturais e construtivas”. (SAMPEDRO, 2013, p.31). Concorde-se plenamente com a visão do referido autor e acrescenta-se que a geometria, carregada de simbolismo, em um vasto período da arquitetura clássica à arquitetura medieval, foi utilizada como um meio de expressar o pensamento filosófico vigente. O mesmo em sua tese doutoral faz uma investigação a respeito do emprego das superfícies geométricas como configuradoras do espaço arquitetônico e analisa recursos geométricos tais como: simetria e proporção. Ao estudar a arquitetura egípcia expõe que “os egípcios utilizaram geometrias muito puras em seus edifícios. Estas formas simplificadas como as pirâmides, os prismas puros... de grande força compositiva, se viam reforçadas por múltiplos recursos geométricos como assimetria e a proporção (...)”. (SAMPEDRO, 2013, p.35).

Para os gregos o círculo, chamado de ‘mónade’, era o elemento geométrico que significava o primeiro, a semente, a essência, a unidade. A junção de dois círculos de mesmo raio unidos pelos seus centros representava a dualidade, a diversidade, denominada de ‘díade’, cujo princípio era a polaridade. E a área de interseção proveniente da referida junção gera uma figura que simbolizava o Cristo, por se assemelhar a um peixe, cognominada de ‘vesica piscis’, esta foi bastante explorada pelos arquitetos da antiguidade clássica e medieval na concepção arquitetônica de templos e catedrais. Estes conceitos tornaram-se a base de uma geometria que ficou conhecida como ‘geometria sagrada’.

Segundo Lawlor (1996) o misticismo da ‘vesica piscis’ representa a união dos dois mundos o espiritual representado pelo céu, e o profano representado pela terra, pensamento filosófico que influenciou os arquitetos da idade média.

Enquanto função universal, Cristo é simbolicamente esta região que une o céu e a terra, o superior e o inferior, o criador e a criação. Este peixe é também a designação simbólica da Era de Peixes e, por conseguinte, a ‘Vesica’ é a figura geométrica dominante neste período de evolução cósmica e humana, e é a principal fonte temática em que se inspiram no Ocidente os templos cósmicos dessa era: as catedrais góticas. (LAWLOR, 1996, p.33).

Além da arquitetura clássica a geometria euclidiana também foi empregada como ferramenta de concepção formal de forma marcante em vários estilos arquitetônicos tais como: o gótico que se utilizou de arcos ogivais; o renascimento que significou uma mimese da antiguidade, e o barroco que fez bastante uso de ovais e do jogo de curvas côncavas e convexas. Além da relação linear dos arcos e das abobadas das construções da antiguidade outras relações geométricas permitem o

surgimento de estruturas espaciais leves tais como cúpulas geodésicas e tendas tensionadas.

Com a evolução tecnológica no final do século XX surgem os programas informáticos de desenho assistido por computador, um fato marcante que mudou o cenário da arquitetura, por facilitar e promover a criação de formas mais orgânicas e irregulares, assim como otimizar o planejamento mais geométrico.

O que a princípio foi uma substituição bastante intuitiva da delineação manual foi convertido em uma potente ferramenta de projeto de arquitetura. (...). Com a aparição das curvas e superfícies de Bezier ao final dos anos 60 provenientes da indústria automobilística, aplicadas posteriormente aos programas de desenho assistido por computador, o projeto de uma nova arquitetura que já não somente se baseia em formas regradas se não em todo tipo de formas orgânicas e irregulares se fez possível. Este feito ligado ao desenvolvimento da denominada High Tech, torna possível os edifícios de arquitetos como Norman Foster e Santiago Calatrava, com planejamentos mais geométricos, e outros como Frank Gehry, Zaha Hadid e Daniel Libeskind com um projeto mais escultórico e orgânico. (SAMPEDRO, 2013, pp.48-49).

Para Sampedro (2013) a geometria continua sendo fundamental, uma grande aliada, no processo de concepção mesmo com o advento da informática.

A geometria se converte no suporte necessário para dominar os programas informáticos, tornar eficientes as estruturas e viável a construção dos novos edifícios. (...) O correto uso da geometria e as superfícies singulares com critérios não somente estéticos, se não estruturais e construtivos, não implica uma perda na criatividade e na beleza do edifício. E mais, ao utilizar estes critérios podem-se gerar edifícios como os que se mostram, e que passaram na história da arquitetura. Se a este unimos as ferramentas informáticas que dispomos hoje em dia, poderíamos afirmar que não existe limite no projeto geométrico da arquitetura. (SAMPEDRO, 2013, pp.50-51).

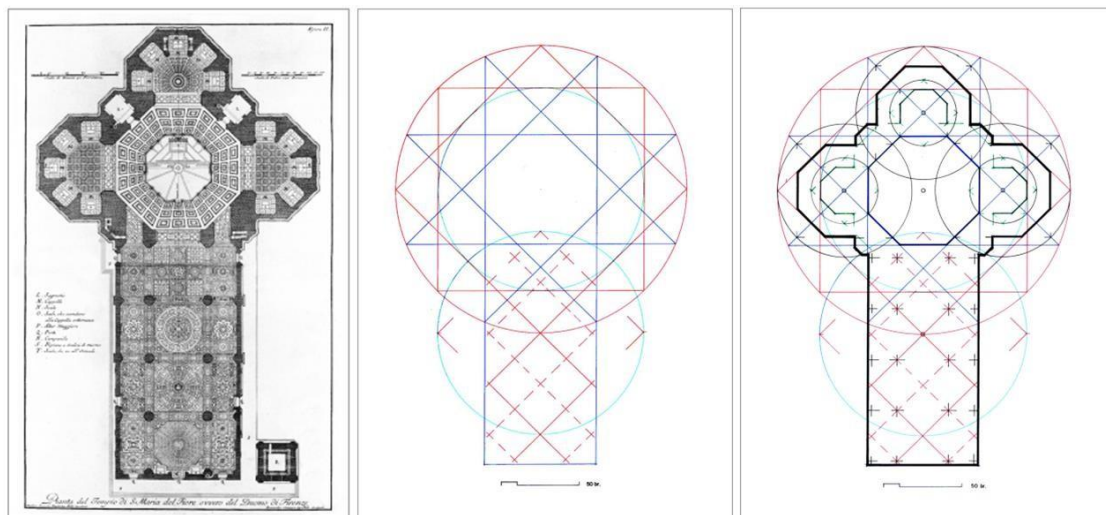
Surgem outras geometrias não-euclidianas denominadas de fractal, a geometria das formas complexas, e a topológica que está mais relacionada com as questões de posição, fronteira e caminho.

4. TRAÇADOS REGULADORES DA ARQUITETURA

O pensamento filosófico e o conhecimento geométrico que individualizaram a geometria sagrada foram base para a determinação de planos geométricos denominados de traçados reguladores (Figura 3), cuja função era garantir a adequação entre forma e função, além de promover uma perfeita coerência entre as partes e o todo arquitetônico. Os traçados reguladores são definidos pela geometria e estabelecem regras de concepção formal, portanto "(...) a geometria se converte em indispensável. Dá simplicidade que necessita a arquitetura, estabelecendo uma série

de regras, mediante traçados, regras de composição (...) que ajudam a materializá-la... (...)” (SAMPEDRO, 2013, p.31).

Figura 3: Traçado regulador da catedral Santa Maria del Fiore.



Fonte: SANZ, 2014. Adaptada pela autora.

Na arquitetura medieval os traçados reguladores definidos por meio de sistemas proporcionais provenientes do triângulo e do quadrado denominados de Ad Triangulum e Ad Quadratum, respectivamente, tornaram-se métodos construtivos que relacionavam a geometria à concepção projetual. Além do triângulo e do quadrado, outros polígonos foram utilizados como núcleos geradores de composição arquitetônica, Sanz (2014) apresenta em seu livro exemplos de traçados reguladores nos quais se tem o pentágono e o octógono como definidores da forma.

Os traçados reguladores também tiveram como fundamentação o princípio da simetria, “... relação de paridade, tanto em respeito à altura, largura e comprimento, das partes necessárias para compor um todo”³, ressaltado por Vitruvius (1914) em seu consagrado livro ‘The ten books on architecture’, no qual o autor faz uma explanação sobre a importância desta relação, associando-a à proporção, como parâmetros de composição arquitetônica.

Segundo Lawlor (1996) para alguns arquitetos um traçado regulador “(...) começa com uma expressão natural do triângulo equilátero e conclui com uma série de simetrias em que se inspiram as plantas de edifícios na arquitetura renascentista.” (LAWLOR, 1996, p.43).

A arquitetura barroca também segue utilizando traçados reguladores na concepção formal de suas igrejas. No modernismo ressalta-se o pensamento do

arquiteto Le Corbusier que via a geometria como ferramenta para definir traçados reguladores, tendo como base relações numéricas proporcionais. Fato que pode ser confirmado através da afirmação “(...) Le Corbusier entendia que a proporção era a consideração fundamental dos arquitetos e dos construtores e que a medida era um instrumento para facilitar a construção (...)”. (PENNICK, 1980, p.174).

Contemporaneamente pode-se afirmar que processos de composições arquitetônicas continuam tendo como base a geometria através de tramas retangulares e módulos quadrados como é o caso do Museu de Arte Contemporâneo de Barcelona do arquiteto Richard Meier. As Torres Gêmeas de Kuala Lumpur, projeto da construtora espanhola Acciona, é um exemplo do emprego do octógono como traçado regulador.

5. A GEOMETRIA E A PERCEPÇÃO ESPACIAL

Quanto ao desenvolvimento da percepção espacial, um dos aspectos observados desta tese, sabe-se, de antemão, que a referida habilidade não é um dom; portanto, ela pode ser aprendida. Dependendo da sensibilidade visual e do conhecimento geométrico, uns terão mais facilidade para desenvolvê-la do que outros que não tem muita suscetibilidade à percepção do espaço nem o pensamento geométrico desenvolvido. Quanto mais aprimorada a habilidade percepção espacial mais facilmente o aluno entende a geometria descritiva, contudo, e por outro lado, quanto mais conhecimento se tem dos conteúdos da geometria descritiva mais possibilidade existe de se desenvolver a referida habilidade.

Boudon (2002) diz que “a percepção de um objeto depende, em parte, da nossa experiência e conhecimento, até mesmo das nossas expectativas” (p.27). Assim parte-se da hipótese que quanto mais percepção espacial o aluno tiver, mais habilidade terá potencialmente no ato de conceber, uma vez que

o desenvolvimento da visão espacial tornará o aluno capaz de projetar e entender projetos produzidos por outros profissionais. Também é por ela que se consegue ‘ver’ (com sentido de imaginar) um objeto, pensar modificações que melhorem suas características alterando sua forma ou a relação entre os elementos que o constituem. (SILVA, 2006, p.64).

Como existe uma relação entre a percepção espacial e a capacidade de concepção formal do aluno, é necessário que se busque desenvolver a referida habilidade.

6. CONCEPÇÃO E PROCESSOS DE PROJETO

No que se refere ao processo cognitivo durante a concepção do projeto arquitetônico, pode-se ressaltar o pensamento de Boudon (2000), que também destaca a percepção que ocorre durante o próprio processo de concepção do projetista, através da análise dos desenhos de produção do espaço. Neste momento, o arquiteto, ao ler os seus próprios desenhos, visualiza novas percepções que possibilitam novas ideias para o projeto. Este raciocínio se confirma através das afirmações de que

(...) a leitura de um desenho pode ser outra e, assim, criar oportunidades ou propriedades do projeto (...). Percepção particular de que a reprodução de desenhos também desempenha um papel importante no seu trabalho de concepção. O projeto envolve então a alternância de leitura e produção de desenhos. (BOUDON, 2000, p. 31).

Lawson (2011) também trata deste assunto afirmando que o projetista no ato de projetar realiza um processo baseado em conversa e percepção. De fato, Donald Schön (2000), em seu livro ‘Educando o profissional reflexivo: um novo design para o ensino e a aprendizagem’, aborda essa questão declarando “desenhar e conversar são formas paralelas de construir um projeto e, juntas, elas fazem o que eu chamo de linguagem do processo de projeto” (p.48). Para Jorge Cruz Pinto (2007), adquire-se “(...) o domínio epistemológico da arquitetura e do urbanismo, através da recepção, por via da vivência, da interpretação hermenêutica e da crítica (...)” (p.25).

Fazendo uma analogia entre imaginação e percepção, visando à concepção, podemos mencionar o pensamento de Ching (2012), que em seu livro ‘Desenhos para arquitetos’ ao abordar o tema desenho com base na imaginação relata

imaginar é criar imagens mentais de algo que não está presente aos sentidos. A imaginação, portanto, se refere ao poder de reproduzir imagens guardadas na memória sob a sugestão de imagens associadas – imaginação reprodutiva – ou de recombinar experiências passadas na criação de novas imagens dirigidas a um objeto específico ou que ajudem na solução de problemas – imaginação criativa. Usamos nossa imaginação criativa no projeto para visualizar possibilidades, fazer planos para o futuro e especular sobre as consequências de nossas ações. Desenhamos de modo a captar e tornar visíveis estas concepções de que algo ainda não existe, exceto na mente. (CHING, 2012, p.285).

Após a percepção imagética, se faz necessário o ato de desenhar e redesenhar, ao colocar no papel as ideias oriundas desta fase, neste procedimento o projetista realiza uma ação reflexiva que faz parte do processo de concepção projetual.

Assim sendo, em prol da qualidade do ensino se faz necessário que os professores universitários busquem a produção de conhecimento tendo como alicerce investigações constantes, e que estas sejam realizadas através de métodos que possibilitem integração entre os saberes. Nas escolas de arquitetura, e especificamente no ensino de projeto arquitetônico, isso é especialmente evidente dada à natureza do objeto investigado.

7. ENSINO DE PROJETO DE ARQUITETURA

Reforçando o pensamento de Edgar Morin (2011), no que se refere à contextualização, à complexidade e à totalidade, fatores necessários à construção do conhecimento classificado pelo mesmo de conhecimento pertinente, Carsalade (2003), discute o ensino de projeto tendo como base de referência a teoria do conhecimento de Piaget (1896-1980) e Vygotsky (1896-1934), ou seja, a teoria construtivista do ensino, e a interatividade entre sujeito e objeto de conhecimento defendida por Freire (1921-1997). Por sua vez, Rheingantz (2003) aponta uma perspectiva sócio-interacionista para o ensino de projeto de arquitetura, indicando que deveria ser fundamentado na interação social e no diálogo professor-aluno com valorização do processo de construção do conhecimento.

Na concepção do projeto arquitetônico Cavalcante e Veloso (2012) apontam a interdisciplinaridade como uma prática essencial, por favorecer a compreensão dos fatores que estão atrelados ao processo.

Corroborando-se com Almeida (2001) a respeito da importância de a disciplina de projeto assumir as questões de representação e utiliza-las como um recurso a mais, à ser explorado no ensino de projeto. Assim sendo o que, à primeira vista, parece ser um problema para a concepção projetual no início do curso, torna-se um veículo, um caminho a ser trilhado. Fato que promove uma ampliação dos limites, uma superação das dificuldades do aluno, propósitos da educação que são defendidos por Carsalade (1997). Além de possibilitar o exercício da prática da integração entre a representação e o projeto arquitetônico, outro fator relevante ao processo de aprendizagem.

Enfim, de acordo com o exposto acima, o ensino de projeto será considerado eficiente se for praticado tendo como suporte: a teoria construtivista do ensino; a interatividade entre sujeito e objeto; a contextualização; a interação social e o diálogo professor-aluno; integração de conteúdo, e a interdisciplinaridade. Todos estes fatores

se aplicam também ao ensino de geometria.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O conteúdo abordado no presente artigo foi necessário para se fomentar o objetivo geral da tese em questão que é promover um avanço do conhecimento na área de geometria aplicada ao projeto de forma interdisciplinar. Por intermédio da exploração da relação entre a geometria e a percepção espacial, e da investigação da concepção e do processo de projeto. Neste sentido, o ensino da geometria como um instrumento de concepção produz uma aprendizagem significativa, além de conscientizar o aluno da importância do conhecimento geométrico no processo de projeto.

REFERÊNCIAS

- BOUDON, Philippe *et al.* Enseigner la Conception Architecturale - Cours D'Architecturologie. Paris: Éditions de la Villette. 2000. 291p.
- CHING, F. D. K. e JUROSZEK, S. P. Desenho para arquitetos. Trad. Alexandre Salvaterra. 2ª Ed. Porto Alegre: Bookman, 2012. 414p.
- DIAS, M. A. Formas e transformações geométricas um exercício de visualização. In: IV Congreso Internacional de Expresión Gráfica en Ingeniería, Arquitectura Y áreas Afines. EgraFIA 2012: La Plata, Argentina. P. 236-239.
- DILIGENTI, M. P. A geometria da complexidade. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006. 170p.
- LAWLOR, R. Geometria sagrada: filosofia e prática. Madri: Ed. Edições del Prado. Trad. Maria José Garcia Ripoll. 1996. ISBN: 84-7838-784-6. 112p.
- LIMA, M. M. F. Modelando o ensino da geometria. 1ª Mostra Nacional de Boas Práticas Pedagógicas no ensino de Arquitetura e Urbanismo, Menções Honrosas e Diplomas de Mérito Especial. ABEA. 2008, p. 37-43.
- MORIN, E. Os sete saberes necessários à educação do futuro. 2ª Ed. São Paulo: Cortez, 2011. 102p.
- PENNICK, N. Geometria sagrada: simbolismo e intenção nas estruturas religiosas. São Paulo: Ed. Pensamento. Trad. Alberto Feltre. 1980. 185p.
- PINTO, Jorge Cruz. Processos e Metodologias de Projeto - Laboratórios de Arquitetura I, II, III, IV. Lisboa: Centro Editorial da Faculdade de Arquitetura da Universidade Técnica de Lisboa, 2007. 122p.
- SAMPEDRO, F. J. S. La geometría de las superficies arquitectónicas: Análisis formal geométrico de la Ciutat de les Arts i les Ciències de Valencia. Valencia: UPV. 2013. 379p.
- SANTOS, S. M. F. e LEAL, D. A. O Ensino de Matemática no Brasil com ênfase na Geometria. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.1, p.10647-10662 Jan. 2021. DOI:10.34117/bjdv7n1-727. Disponível em: <file:///C:/Users/ARQ%20PROF/Desktop/M%C3%94NICA%20LIMA/Livros%20e%20artigos/document.pdf>. Acessado em 09/09/2021.
- SILVA, C. I. D. N. da. Proposta de aprendizagem sobre a importância do desenho geométrico e da geometria descritiva. Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná. 2006. 103 p.
- SILVEIRA, J. E. C. Investigação de Metodologia de Ensino de Geometria Descritiva: uma experiência com estudantes de arquitetura e urbanismo. 1ª Mostra Nacional de Boas Práticas Pedagógicas no ensino de Arquitetura e Urbanismo, Menções Honrosas e Diplomas de Mérito Especial. ABEA. 2008, p. 33-36.

CAPÍTULO 14

EXISTENCE OF SOLUTION OF A NONLINEAR ELLIPTIC COUPLED SYSTEM

Milton Milciades Cortez Gutiérrez

Doctor of Mathematics

Institution: Universidad Nacional de Trujillo

Address: Av Juan Pablo II, s/n, Cidade Universitária. Trujillo, La Libertad, Perú

E-mail: mcortez@unitru.edu.pe

José Simeón Quique Broncano

Doctor of Mathematics

Institution: Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Address: Av. Germán Amézaga, s/n, Lima, Perú

E-mail: jqunqueb@unmsm.edu.pe

ABSTRACT: This paper is concerned with the proof of the existence of solutions for a non linear elliptic coupled system in Sobolev space, more precisely such systems involve non linear partial differential equations of type elliptic.

$$\Delta^2 u - \sqrt{\lambda_1} \Delta u + \lambda_1 u = \mu_1 u^3 + \alpha u v^2$$

$$\Delta^2 v - \sqrt{\lambda_2} \Delta v + \lambda_2 v = \mu_2 v^3 + \alpha u^2 v$$

Where f and g are functions of the variables u and v that lie in certain Sobolev spaces. For that, one makes use of the technical of the functional Analysis and that arise its relation with the optimization theory.

KEYWORDS: Coupled System Of The Type Elliptic; Sobolev Spaces.

RESUMO: Este artigo está preocupado com a prova da existência de soluções para um sistema não linear elíptico acoplado no espaço Sobolev, mais precisamente tais sistemas envolvem equações diferenciais parciais não lineares do tipo elíptico.

$$\Delta^2 u - \sqrt{\lambda_1} \Delta u + \lambda_1 u = \mu_1 u^3 + \alpha u v^2$$

$$\Delta^2 v - \sqrt{\lambda_2} \Delta v + \lambda_2 v = \mu_2 v^3 + \alpha u^2 v$$

Onde f e g são funções das variáveis u e v que estão em certos espaços do Sobolev. Para isso, faz-se uso da técnica da Análise funcional e que surgem sua relação com a teoria da otimização.

PALAVRAS-CHAVE: Sistema Acoplado Do Tipo Elíptico; Espaços Sobolev.

1. INTRODUCTION

We study the existence of solution of a nonlinear elliptic coupled system as mentioned above.

Such problem can be studied like an optimal control problem. According to a distributed control problem for some model applied, in **Cassius Vinícius Casaro, Diego Márcio Gonzaga, Marco Rogério da Silva Richetto, Kátia Celina da Silva Richetto. (2022)**. First and foremost, we assume that $\lambda_1, \lambda_2, \mu_1, \mu_2$ are real positive numbers, beyond that α is a parameter. Consider the space V defined by $V = H^2(\Omega) \cap H^1(\Omega)$ with the inner product

$$((u, v)) = (\Delta u, \Delta v) + \sqrt{\lambda_1}(\nabla u, \nabla v) \quad (1)$$

Here $(,)$ is the inner product in $L^2(\Omega)$, such that the induced norm is

$$\|u\|^2 = |\Delta u|^2 + \sqrt{\lambda_1}|\nabla u|^2 \quad (2)$$

Let $H \times H$ be the subset of V , consisting of the radial functions with the inner product

$$(u, v)_i = (\Delta u, \Delta u) + \lambda_i \nabla u, \nabla v + \lambda_i((u, v))_i = (\Delta u, \Delta u) + \sqrt{\lambda_i}(\nabla u, \nabla v) + \lambda_i(u, v) \quad (3)$$

Whose associated norm is

$$\|u\|_i^2 = |\Delta u|^2 + \sqrt{\lambda_i}|\nabla u|^2 + \lambda_i|u|^2 \quad (4)$$

We begin stating the following functional

$$J(u, v) = \frac{1}{2}\|u\|_1^2 + \frac{1}{2}\|v\|_2^2 - \frac{1}{4}\mu_1 \int_{\mathbb{R}^2} u^4 dx - \frac{1}{4}\mu_2 \int_{\mathbb{R}^2} v^4 dx - \frac{\alpha}{2} \int_{\mathbb{R}^2} u^2 v^2 dx$$

$$\forall (u, v) \in V \times V$$

equivalently

$$J(u, v) = J_1(u) + J_2(v) - \frac{\alpha}{2} \int_{\mathbb{R}^2} u^2 v^2 dx \quad (5)$$

Where

$$J_i(u) = \frac{1}{2} \|u\|_i^2 - \frac{1}{4} \mu_i \int_{\mathbb{R}^2} u^4 dx, \quad u \in V, i = 1, 2$$

Then, $(u, v) \neq (0, 0)$ is a ground state solution for a nonlinear elliptic coupled system, if it satisfies $J'(u, v) = 0$

2. MATERIALS AND METHODS

Now, we recall the concept of Gâteaux derivative to the functional $J(u, v)$ as follow

$$(J'(u, v), (h, k)) = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{[J(u + th, v + tk) - J(u, v)]}{t} \quad (6)$$

$\forall (h, k) \in V \times V$. Thus, replacing the functional $J(u, v)$ in the relation (6), we get

$$\begin{aligned} (J'(u, v), (h, k)) &= (\Delta u, \Delta h) + \sqrt{\lambda_1}(\nabla u, \nabla h) + \lambda_1(u, h) - \mu_1 \int_{\mathbb{R}^2} u^3 h dx + \\ &+ (\Delta v, \Delta k) + \sqrt{\lambda_2}(\nabla u, \nabla k) + \lambda_2(v, k) - \mu_2 \int_{\mathbb{R}^2} v^3 k dx - \alpha \int_{\mathbb{R}^2} u v^2 h + u^2 v k dx \end{aligned} \quad (7)$$

From the relation (7), we can take $h = u$ and $k = v$, for defining the following functional

$$\begin{aligned} L(u, v) &= |\Delta u|^2 + \sqrt{\lambda_1}|\nabla u|^2 + \lambda_1|u|^2 + |\Delta v|^2 + \sqrt{\lambda_2}|\nabla v|^2 + \lambda_2|v|^2 - \\ &- \mu_1 \int_{\mathbb{R}^2} u^4 dx - \mu_2 \int_{\mathbb{R}^2} v^4 dx - 2\alpha \int_{\mathbb{R}^2} u^2 v^2 dx \end{aligned} \quad (8)$$

On the other hand, we consider the manifold M defined by

$$\mathbf{M} = \{(u, v) \in H \times H \setminus \{(0,0)\} ; L(u, v) = 0\} \quad (9)$$

In addition, Gâteaux's derivative to the functional $L(u, v)$ given in the relation (8) is

$$(L'(u, v), (u, v)) = -2(\|u\|_1^2 + \|v\|_2^2) < 0, (u, v) \in \mathbf{M} \quad (10)$$

That is, $\mathbf{M}$ is a smooth manifold in the neighborhood of the point $(u, v) \neq (0,0)$ with $L(u, v) = 0$.

Note that, whatever is a critical point of the functional J restricted to manifold $\mathbf{M}$, is a critical point of J as well. Certainly, the second derivative of the functional $J(u, v)$ in the origin $(0,0)$ such that

$(h, k) \in V \times V \setminus \{(0,0)\}$ is given by

$$J''(0,0)(h, k)^2 = |\Delta h|^2 + \sqrt{\lambda_1} |\nabla h|^2 + \lambda_1 |h|^2 + |\Delta k|^2 + \sqrt{\lambda_2} |\nabla k|^2 + \lambda_2 |k|^2 > 0 \quad (11)$$

therefore, $(0,0)$ is a strict minimum for the functional J , so that $(0,0)$ is an isolated point of the manifold $\mathbf{M}$, consequently, is a complete smooth manifold.

We consider the equation

$$\Delta^2 z - \Delta z + z = z^3 \quad (12)$$

Consequently, there exists a unique radial solution z of (12) (see Cortez, M., 1983) such that, through the change of scale we see that z_i becomes the solution of the equation

$$\Delta^2 z - \sqrt{\lambda_i} \Delta z + \lambda_i z = \mu_i z^3 \quad (13)$$

Where z_i is given by

$$z_i = \sqrt{\frac{\lambda_i}{\mu_i}} z(\sqrt[4]{\lambda_i} x) \quad (14)$$

We assume the following positive constants C_i , $i = 1, 2$ defined by

$$C_1 = \inf_{k \in V \setminus \{0\}} \left(\frac{\|k\|_2^2}{\int_{\mathbb{R}^2} z_1^2 k^2 dx} \right), C_2 = \inf_{h \in V \setminus \{0\}} \left(\frac{\|h\|_1^2}{\int_{\mathbb{R}^2} z_2^2 h^2 dx} \right)$$

where z_i is the solution of the equation

$$\Delta^2 z - \sqrt{\lambda_i} \Delta z + \lambda_i z = \mu_i z^3$$

We deduce that, $(z_1, 0)$ y $(0, z_2)$ are particular solutions for a non linear elliptic coupled system Let $\mathbf{M}_i$ be **Nehari's** manifold defined by

$$\mathbf{M}_i = \left\{ u \in V ; (J'_i(u), u)_i = 0 \right\}$$

Thas is,

$$\mathbf{M}_i = \left\{ u \in V ; \|u\|_i^2 - \mu_i \int_{\mathbb{R}^2} u^4 dx = 0 \right\}, \quad i = 1, 2$$

Consider the functional

$$T(u) = \|u\|_i^2 - \mu_i \int_{\mathbb{R}^2} u^4 dx, \quad u \in V$$

$$\text{then, } (T'(u), h) = 0 \implies ((u, h))_i - 2\mu_i \int_{\mathbb{R}^2} u^3 h dx = 0 \quad (17)$$

therefore, if $z_i \in \mathbf{M}_i$, the tangent vector $h \in T_{z_i} \mathbf{M}_i$ if and only if

$$(z_i, h) - 2\mu_1 \int_{\mathbb{R}^2} z_i^3 h dx = 0.$$

That is

$$(h, k) \in T_{(u,v)}\mathbf{M} \Leftrightarrow$$

$$\begin{aligned} ((u, h))_1 + ((v, k))_2 &= 2\mu_1 \int_{\mathbb{R}^2} u^3 h dx + \\ &+ 2\mu_2 \int_{\mathbb{R}^2} v^3 k dx + \alpha \int_{\mathbb{R}^2} uv^2 h + u^2 v k dx \end{aligned} \quad (18)$$

In particular, we have

$$(h, k) \in T_{(z_1, 0)}\mathbf{M} \Leftrightarrow h \in T_{z_1}M_1 \quad (19)$$

In a similar way

$$(h, k) \in T_{(0, z_2)}\mathbf{M} \Leftrightarrow k \in T_{z_2}M_2 \quad (20)$$

Proposition 1.- If $\alpha < \min\{C_1, C_2\}$. Then $(z_1, 0)$ y $(0, z_2)$ are strict local minima of the functional $J(u, v)$ on the manifold $\mathbf{M}$.

Proof

From the relation (9) we have

$$\begin{aligned} (J'(u, v), (h, k)) &= (\Delta u, \Delta h) + \sqrt{\lambda_1}(\nabla u, \nabla h) + \lambda_1(u, h) - \mu_1 \int_{\mathbb{R}^2} u^3 h dx + \\ &+ (\Delta v, \Delta k) + \sqrt{\lambda_2}(\nabla v, \nabla k) + \lambda_2(v, k) - \mu_2 \int_{\mathbb{R}^2} v^3 k dx - \alpha \int_{\mathbb{R}^2} uv^2 h + u^2 v k dx \end{aligned}$$

In particular

$$(J'(z_1, 0), (h, k)) = (\Delta z_1, \Delta h) + \sqrt{\lambda_1}(\nabla z_1, \nabla h) + \lambda_1(z_1, h) - \mu_1 \int_{\mathbb{R}^2} z_1^3 h dx \quad (21)$$

From (15), we know that z_1 is a solution for the equation $\Delta^2 z - \sqrt{\lambda_1} \Delta z + \lambda_1 z = \mu_1 z^3$, consequently

$$J'(z_1, 0) = 0$$

In a similar way, we deduce that $J'(0, z_2) = 0$. On the other hand, a straight forward on the second differential for the functional $J(u, v)$, we get in particular

$$\begin{aligned} J''(z_1, 0)(w_1, w_2)^2 &= |\Delta w_1|^2 + \sqrt{\lambda_1} |\nabla w_1|^2 + \lambda_1 |w_1|^2 - 3\mu_1 \int_{\mathbb{R}^2} z_1^2 w_1^2 dx + \\ &+ |\Delta w_2|^2 + \sqrt{\lambda_2} |\nabla w_2|^2 + \lambda_2 |w_2|^2 - \alpha \int_{\mathbb{R}^2} z_1^2 w_2^2 dx \end{aligned} \quad (22)$$

For $(w_1, w_2) \in T_{(z_1, 0)} \mathbf{M}$. Equivalently

$$J''(z_1, 0)(w_1, w_2)^2 = J_1''(z_1)[w_1]^2 + \|w_2\|_2^2 - \alpha \int_{\mathbb{R}^2} z_1^2 w_2^2 dx$$

In addition, since, z_1 a minimum of the del functional

$$J_1(u) = \frac{1}{2} \|u\|_1^2 - \frac{1}{4} \mu_1 \int_{\mathbb{R}^2} u^4 dx$$

On the manifold

$$\mathbf{M}_1 = \left\{ u \in V ; \|u\|_1^2 - \mu_1 \int_{\mathbb{R}^2} u^4 dx = 0 \right\}$$

For a characterization of minimum of a functional (Zeidler Eberhard, (1990), There exists a constant $k_1 > 0$ such that

$$J_1''(z_1)[w_1]^2 \geq k_1 \|w_1\|_1^2 \quad , \quad w_1 \in T_{z_1} \mathbf{M}_1$$

Taking into account (23) and (24) we get

$$J''(z_1, 0)(w_1, w_2)^2 \geq k_1 \|w_1\|_1^2 + \|w_2\|_2^2 - \alpha \int_{\mathbb{R}^2} z_1^2 w_2^2 dx$$

Hence, by using the relation (15) it yields

$$C_1 \leq \left(\frac{\|w\|_2^2}{\int_{\mathbb{R}^2} z_1^2 w^2 dx} \right) \Rightarrow - \int_{\mathbb{R}^2} z_1^2 w^2 dx \geq - \frac{\|w_2\|_2^2}{C_1}$$

By substituting in the relation (25), we have

$$J''(z_1, 0)(w_1, w_2)^2 \geq k_1 \|w_1\|_1^2 + \|w_2\|_2^2 - \alpha \frac{\|w_2\|_2^2}{C_1}$$

Thus, if $\alpha < C_1$, we can choose a constant $0 < k_2 < 1$ such that

$$J''(z_1, 0)(w_1, w_2)^2 \geq k_1 \|w_1\|_1^2 + k_2 \|w_2\|_2^2 \geq k \| (w_1, w_2) \|_{H \times H}^2$$

Consequently $(z_1, 0)$ is a strict local minima of the functional $J(u, v)$ on the manifold $\mathbf{M}$. The same way, one can show that $J(u, v)$ on the manifold $\mathbf{M}$ $(0, z_2)$ is a strict local minima of the functional $J(u, v)$ on the manifold $\mathbf{M}$.

3. MAIN RESULT

Theorem 1.- Let $a = \min\{C_1, C_2\}$ be and $\alpha < a$. Then the nonlinear elliptic coupled system (1) and (2) have a radial ground state solution.

Proof

Let (u_n, v_n) be a sequence in $\mathbf{M}$, from the Proposition 1, we get

$$0 < J(u_n, v_n) = \frac{1}{4} [\|u_n\|_1^2 + \|v_n\|_2^2] = \frac{\|(u_n, v_n)\|_{H \times H}^2}{4} \leq K$$

In addition, by definition on the manifold $\mathbf{M}$, we have

$$J'(u_n, v_n) \rightarrow 0, n \rightarrow \infty$$

Hence, by using the condition of Palais-Smale, we get that there exists a subsequence (u_{n_j}, v_{n_j}) of (u_n, v_n) such that the sequence $J(u_{n_j}, v_{n_j})$ converge strong in $L^4(\Omega)$, $n > 4$. certainly, $J(0,0) = 0 < c_0$, beyond that for somepara $r > 0$ and $e \in \mathbf{M}$ with $\|e\| > r$ by choosing $0 < R < c_0$ such that $R > \|e\| > r$, we get

$$\frac{r^2}{4} < J(\mathbf{e}) < \frac{R^2}{4} < c_0$$

So that $c_0 > c_1 = \max\{J(\mathbf{0}), J(\mathbf{e})\}$

Therefore, of the mountain pass extension theorem applied to the functional $J(u, v)$ on the manifold $\mathbf{M}$, it yield a critical point $(u, v) \in H \times H$ of the functional J , and consequently the nonlinear elliptic coupled system (1) and (2) have a radial ground state solution.

REFERENCES

- Adams, R. A. (1975). Sobolev Spaces. Academic Press.
- Ambrosetti, A y Colorado, E. (2006) Bound and ground states of coupled nonlinear Schrodinger equations, Elsevier
- Ambrosetti, A. & P.H. Rabinowitz, Dual variational methods in critical point theory and applications, J. Funct. Anal. 49 (4) (1973) 349-381.
- Akhmediev, N. y Ankiewicz, A. (2008). Dissipative Solitons: From Optics to Biology and Medicine Lectures notes in physics 751. Springer Verlag.
- Binding, P.A., Drabek, P. & Y.X. Huang, Existence of multiple solutions of critical quasilinear elliptic Neumann problems, Nonlinear Anal. 42 (2000) 613–629.
- Brezis, H. (1983). *Analyse Fonctionnelle, theorie et applications*. Paris: Masson.
- Clarke, F. (1990). Optimization and Nonsmooth Analysis. *SIAM Classics Appl. Math.* 5.
- Cortez, M. (1983) Control óptimo para una ecuación elíptica no lineal, Tesis de Maestría. IMUFRJ, Brazil
- Cassius Vinícius Casaro, Diego Márcio Gonzaga, Marco Rogério da Silva Richetto, Kátia Celina da Silva Richetto. (2022) Implementação de automatização do processo de fabricação de polímero utilizando a plataforma SDCD Yokogawa Centum VP, Brazilian Journal of development Vol. 8 No. 12.
- Dancer, E. N., Wei, J. y Weth, T. (2015). Solutions of Nonlinear Schrödinger Systems Springer Verlag.
- Deimling, K. (2000). *Nonlinear Functional Analysis*. N.Y.: Springer Verlag.
- Evans, L. (1998). Partial Differential Equations. Graduate studies in mathematics. American Mathematical Society.
- Nehari, Z. On a class of nonlinear second-order differential equations, Trans. Amer. Math. Soc. 95 (1960) 101–123
- Pazy, A. (1983). Semigroups of Linear Operators and Application to Partial Differential Equations. Applied Mathematical Sciences. Springer New York.
- Pucci, P. A. (1984). Mountain Pass Theorem, Journal differential equation.
- Renardy, M. & Rogers, R. (1993). *An introduction to partial differential equations*. N.Y.: Springer Verlag.
- Van Waarde, H.J., Trentelman, H. L. & Camlibel, M. K. (2017). Comments on necessity of diffusive couplings in linear synchronization problems with quadratic cost. *IEEE Trans. on Automatic Control*, 62(6), 3099-3101.
- Zeidler Eberhard, (1990) Nonlinear Functional Analysis and its Applications, Vol.II/A

Springer-Verlag, New York.

Zhijie Chen, Wenming Zou. (2014). Standing waves for linearly coupled Schrodinger equations with critical exponent. Elsevier.

CAPÍTULO 15

USO DA CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS) PARA VERIFICAR O DESEMPENHO DE COLETA DE PARTÍCULAS DE UM CICLONE UTILIZADO PARA FILTRAÇÃO DE GASES

Laryssa Ellem Nascimento Braz

Graduada em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei/MG, CEP: 36307-352

E-mail: laryssahelen@gmail.com

Maria Júlia Rodrigues Rocha

Graduada em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei/MG, CEP: 36307-352

E-mail: majurr23@gmail.com

Aderjane Ferreira Lacerda

Doutora em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei/MG, CEP: 36307-352

E-mail: aderjane@ufsj.edu.br

Reimar de Oliveira Lourenço

Doutor em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei/MG, CEP: 36307-352

E-mail: reimar@ufsj.edu.br

RESUMO: O ciclone é certamente um dos mais utilizados, antigos e conhecidos dispositivos destinados à recuperação dos materiais particulados nos processos e na separação de partículas sólidas presentes em uma corrente gasosa. São constituídos basicamente de uma região cilíndrica acoplada a uma seção cônica. Neste tipo de equipamento a separação do sólido presente na corrente gasosa ocorre pela ação do campo centrífugo resultante da geometria do equipamento e pelo modo através do qual a suspensão escoar no interior do ciclone. Este equipamento pode ser empregado nos mais diversos segmentos da indústria, dentre os quais, metalúrgico, químico e alimentício. O presente trabalho estudou um ciclone já dimensionado anteriormente por Lacerda em 2007, com o uso da ferramenta de CFD (Computational Fluid Dynamics) para verificar o perfil de pressão, velocidade axial e tangencial, o perfil de linhas de corrente e o desempenho de coleta deste ciclone. Encontrou-se uma eficiência de 87,18% no ciclone aqui simulado e o realizado de forma experimental por Lacerda em 2007 teve cerca de 94 % de eficiência. Os resultados observados mostraram boa concordância com dados verificados na literatura, mas a diferença pode estar relacionada aos diferentes métodos empregados, um feito em simulação e o outro de forma experimental. Além disso, o escoamento da corrente de alimentação em um ciclone é dinâmico, ou seja, o procedimento pode ser realizado em mesmas condições de operação e ainda assim apresentar resultados com pequenas variações.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração De Gases; Ciclone; Simulação CFD.

ABSTRACT: The cyclone is certainly one of the most used, old and well-known devices intended for the recovery of particulate materials in processes and the separation of solid particles present in a gaseous stream. They basically consist of a cylindrical region coupled to a conical section. In this type of equipment the separation of the solid present in the gaseous stream occurs by the action of the centrifugal field resulting from the geometry of the equipment and by the way in which the suspension flows inside the cyclone. This equipment can be used in the most diverse segments of the industry, including metallurgical, chemical and food. The present work studied a cyclone previously designed by Lacerda in 2007, using the CFD (Computational Fluid Dynamics) tool to verify the pressure profile, axial and tangential velocity, the current line profile and the collection performance of this cyclone. An efficiency of 87.18% was found in the cyclone simulated here and the one performed experimentally by Lacerda in 2007 had about 94% efficiency. The observed results showed good agreement with data verified in the literature, but the difference may be related to the different methods employed, one done in simulation and the other experimentally. In addition, the flow of the feed stream in a cyclone is dynamic, that is, the procedure can be performed under the same operating conditions and still show results with small variations.

KEYWORDS: Gas Filtration; Cyclone; CFD Simulation.

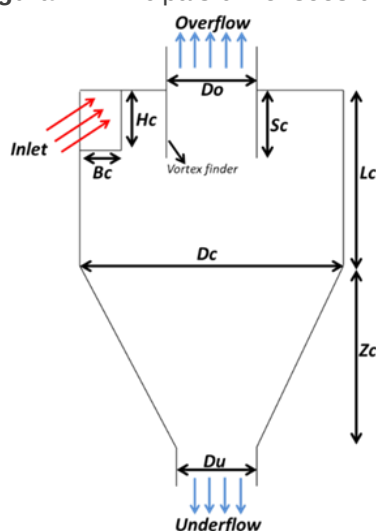
1. INTRODUÇÃO

O ciclone é um equipamento que tem por objetivo tratar um gás sujo. A operação unitária de separação se dá pela remoção de partículas sólidas presente nesse gás. Normalmente é utilizado na separação de partículas com tamanho entre 5 μm e 200 μm (1). Quando essas partículas são muito finas, o equipamento mais eficiente é o ciclone, quando comparado a câmeras de poeira, por exemplo (1).

A estrutura do ciclone consiste em um vaso sem partes móveis que possui uma entrada e duas saídas. Outra característica geométrica importante dos ciclones é a tubulação de saída dos gases que se estende para o interior da câmara cilíndrica, conforme Figura 1. Essa extensão é conhecida como *vortex finder* e impede que o gás passe diretamente do duto de alimentação para o duto de saída. Porém, mesmo com esse artifício, parte do gás alimentado ao ciclone será pouco ciclonado, isto é, terá um tempo curto de residência no equipamento e constituirá o *by-pass*, fluxo de fluido da entrada direto para o *overflow* (1).

Os ciclones são classificados em famílias, as quais apresentam proporções fixas entre as suas dimensões, com ponto de partida em função do diâmetro da parte cilíndrica (D_c). Estas proporções são extremamente importantes no processo de separação, pois influenciam diretamente na capacidade e classificação destes equipamentos (2).

Figura 1: Principais dimensões de um ciclone



Fonte: Autores.

A Tabela 1 descreve as proporções para os ciclones Lapple e Stairmand H.E. São as duas famílias mais utilizadas nos processos industriais (3).

Tabela 1: Proporções geométricas para os ciclones Lapple Stairmand.

Dimensões	Ciclone	
	Lapple	Stairmand
Bc/Dc	0,25	0,20
Do/Dc	0,50	0,50
Hc/Dc	0,50	0,50
Lc/Dc	2,00	1,50
Sc/Dc	0,62	0,50
Zc/Dc	2,00	2,50
Du/Dc	0,25	0,37

Fonte: Lacerda (2007).

O princípio de funcionamento do ciclone é inercial, onde as partículas se separam do gás devido à diferença entre a massa específica, em que $\rho_s > \rho$. Ou seja, a massa específica das partículas sólidas é maior que a massa específica do gás. Além disso, a queda das partículas ocorre na direção radial pela ação de um campo centrífugo de forças.

Esse campo centrífugo é formado devido à rotação da suspensão gás-sólido quando alimentado com determinada velocidade no ciclone. Assim, existe uma queda radial da partícula associado a um movimento de rotação. Essa dinâmica resulta em uma trajetória tridimensional do tipo espiral. O gás sujo entra no ciclone tangencialmente à câmara cilíndrica, sendo assim, forçado a girar. A maioria das partículas se organiza em duas “nuvens”, uma descendente e outra ascendente. Ambas assumem a forma de espirais concêntricas e de mesmo sentido de rotação. Porém a primeira tem alta concentração de partículas e assume seu sentido junto às paredes do ciclone. Já a de sentido ascendente, tem baixa concentração de partículas e se orienta em torno do eixo de simetria do equipamento. Sendo que toda a fração no estado gasoso que entra no ciclone sairá dele pela tubulação superior (3).

O escoamento em espiral apresenta componentes de velocidade nas direções tangencial (v_θ), radial (v_r) e axial (v_z). A velocidade tangencial é a principal e maior componente da velocidade do gás no ciclone. A que determina a intensidade do campo centrífugo, que irá direcionar as partículas radialmente na direção da parede (3).

Conforme a suspensão sólido-gás escoar para baixo no ciclone, parte do gás é continuamente perdida para a região axial, onde a pressão é menor, e saindo pelo

vortex finder. Isto implica uma diminuição da velocidade de rotação do gás, ou seja, um enfraquecimento do campo centrífugo, responsável pela separação das partículas. A fim de contornar tal problema, a câmara tronco cônica aumenta a velocidade do gás por meio da diminuição progressiva da área transversal de escoamento disponível (2).

Os efeitos da geometria na passagem da corrente gasosa, associado ao seu complexo comportamento fluidodinâmico podem produzir regiões de recirculação dentro do ciclone. Esse processo aumenta o tempo de residência da suspensão dentro do equipamento e provocam erosões na parede metálica dos ciclones, devido à frequência dos choques com a parede (2).

O uso de ciclones pode estar associado ao tratamento primário de uma corrente gasosa em uma planta industrial, por exemplo. Ocorre a redução da carga de partículas dessa corrente por meio de um processo relativamente com baixo custo de instalação e operação (2).

Sua aplicabilidade está dentro da engenharia ambiental, removendo material particulado poluente de efluente gasoso. Na engenharia química, como na separação e/ou reciclagem de partículas, de forma a aperfeiçoar os processos. Podem também aparecer no âmbito da engenharia de segurança para separar e controlar pós/poeiras em ambientes de trabalho. Os ciclones também podem ser utilizados como reatores químicos, trocadores de calor, ou até mesmo secadores de materiais granulares. Um exemplo interessante é seu uso em refinarias de petróleo, onde é utilizado para reter o catalisador da produção da gasolina. Sendo capaz de otimizar a recuperação do catalisador e evitar problemas ambientais, como a emissão inadequada dessas substâncias na atmosfera (2). Além de se adequar em operações com ampla faixa de temperaturas, pressões e cargas de sólidos, reforçando seu uso em vários processos (3). A Fluidodinâmica Computacional, também referenciada pela sigla CFD (*Computational Fluid Dynamics*), permite resolver problemas através de simulações numéricas aplicadas ao escoamento de fluidos, transferência de calor e outros fenômenos relacionados. Este é um campo da engenharia em evolução, pois sua aplicabilidade aumenta com o desenvolvimento dos recursos computacionais disponíveis. O comportamento dos fluidos não é muito intuitivo, por isso é difícil prever seu impacto nos produtos e processos. O *Ansys* é um dos *softwares* disponíveis no mercado e é uma ferramenta para simular o comportamento do fluxo de fluido e analisar com precisão os resultados em todo o processo de *design* e fabricação de um equipamento, inclusive no processo de uso final (4).

As aplicações de CFD em processos industriais são cada vez mais usadas para prever variáveis como velocidade, pressão, temperatura, concentração de espécies químicas, entre outras, estando no domínio do sistema ou equipamento estudado. Essas análises apresentam vantagens se comparadas com procedimentos experimentais normalmente utilizados. Elas podem apresentar uma redução do tempo e do custo na obtenção de dados, existe a possibilidade de analisar sistemas em condições de risco, como cenários de acidente, explosões ou emissão de poluentes, além do vasto nível de detalhamento dos resultados (1).

A resolução de um problema CFD se dará em três etapas, a saber: pré-processamento, solução e pós-processamento. No pré-processamento, o domínio do problema é gerado por sua geometria e sua discretização pela confecção da malha. Além das especificações dos componentes do sistema, os fenômenos físicos e químicos em ação, as equações que os descrevem e suas condições iniciais e de contorno. Já na etapa de solução, o *software* realiza a integração das equações diferenciais que regem o sistema nos volumes de controle dentro do domínio. Posteriormente, é realizado a discretização dessas equações integrais que produz um sistema de equações algébricas. Finalmente, o sistema é resolvido por um método iterativo. A etapa de pós-processamento trata principalmente da visualização dos dados obtidos. Isso pode ser feito por meio de gráficos 2-D e 3-D, superfícies de contorno, vetores, animações, entre outros (1).

Em 2007, Lacerda, realizou sua tese de doutorado estudando o efeito das variáveis geométricas no desempenho de ciclones convencionais e filtrantes por meio de uso de simulações CFD e experimentos empíricos. Em particular, teve o dimensionamento de um ciclone que apresentou um melhor resultado a partir das análises feitas. Este ciclone é o, por ela nomeado, CC₂₄, o qual será utilizado como base de comparação para a elaboração desse artigo. E como sugestão para trabalhos futuros, ela propôs a simulação de ciclones em 3-D. Assim, as simulações em CFD aqui utilizadas, foram com o uso de simulação 3-D e inserção de partículas na corrente gasosa. Esse tipo de trabalho é importante para a corroboração de que os avanços tecnológicos e atualizações de *softwares* podem auxiliar nos estudos da fluidodinâmica, por exemplo.

O presente trabalho tem como objetivo a comparação de diferentes métodos de simulações. Para isso, foi desenvolvido um ciclone por meio de técnica de fluido dinâmica computacional com dimensões e modelos referentes ao trabalho de Lacerda

(2007).

2. METODOLOGIA

As simulações numéricas foram realizadas por meio do programa *Ansys Student*, o qual permite o acesso a diversos *softwares* de simulações e está disponível em versão gratuita no site oficial da *Ansys* (4).

2.1 Execução numérica

A geometria do sistema é a parte primordial no processo de desenvolvimento do ciclone e a primeira etapa no processo de simulação. Ela foi desenvolvida no *DesignModeler*, fornecido no programa *Ansys Student* e que disponibiliza funções de modelagem para simulações que abrange a criação de geometria paramétrica, criação de modelo de conceito, modificação de geometria CAD, limpeza e reparo automatizados e várias ferramentas personalizadas projetadas para fluxo de fluidos, análises estruturais e demais tipos de análises (5).

O ciclone proposto neste trabalho possui dimensões iguais ao ciclone CC₂₄, desenvolvido por Lacerda (2007), e estão representadas na Tabela 2.

Tabela 2: Dimensões do ciclone estudado.

Dimensões	Medidas (cm)
Dc	19,40
Lc	39,80
Hc	9,76
Bc	4,58
Do	10,70
Sc	15,50
Zc	43,65
Du	8,00

Fonte: Lacerda (2007).

2.2 A Malha computacional

Com o ciclone desenhado, a próxima etapa, muito importante, é o desenvolvimento da malha computacional. Essa etapa define o tamanho e a formados volumes onde as equações de transporte serão computadas no sistema em que ocorre o escoamento. Sendo assim, quanto mais refinada a malha, mais

precisa será a solução e consequentemente maior será o esforço computacional. Dessa forma, a escolha mais adequada é baseada no tempo de pré-processamento, custo computacional durante a solução e precisão numérica (6). A discretização, realizada por meio da geração de malhas podem ser estruturadas, não estruturadas ou mistas. A estruturada consiste em elementos hexaédricos e cada um desses elementos possui o mesmo número de elementos adjacentes. As malhas não estruturadas têm elementos de diferentes formas geométricas, como tetraedros, prismas e pirâmides, onde o número de células adjacentes não é uniforme ao longo da malha. Por outro lado, uma grade híbrida é uma combinação dos dois tipos de malha, em que cada uma é utilizada em uma região do domínio (6).

A malha desenvolvida neste estudo foi não estruturada, pois ela se adapta melhor a geometrias tortuosas (6). Além disso, ela foi calculada pelo próprio programa, pois para refiná-la seria necessário adquirir o *software*, já que a versão utilizada disponibiliza um máximo de 500.000 células computacionais e foram usadas 466.739.

Para gerar a malha foram definidas cada face com sua devida função. Sendo uma entrada, duas saídas e o restante, paredes. Além disso, o volume foi definido como sendo o fluido (7).

2.3 Condições de contorno

Para realizar a devida simulação, foram informadas ao software as devidas condições de contorno em que se encontra o ciclone. Assim, inseriu-se a aceleração da gravidade de $-9,81 \text{ m/s}^2$ no eixo z. Determinou-se a velocidade de entrada de $13,956 \text{ m/s}$, a qual também foi utilizada por Lacerda (2007). E admitiu-se, nas duas saídas, *underflow* e *overflow*, que a pressão local era atmosférica.

2.4 O Material particulado

O material particulado utilizado foi a rocha fosfática (P_2O_5) para que se aproximasse ainda mais do estudo realizado por Lacerda (2007). Em seu trabalho empírico, a densidade da rocha fosfática foi definida por técnica de picnometria, sendo $3,04 \text{ g.cm}^3$. E a distribuição granulométrica determinada por meio de um analisador de partículas a laser (*MasterSizer da Malvern*), em que foi encontrado o diâmetro médio de $13,98 \text{ micras}$ (2).

Para inseri-la ao sistema, utilizou-se a opção *Discrete Phase* do software, onde foi injetado o tipo superfície, e inserido o diâmetro médio e a velocidade da partícula que se equivale a de alimentação do ciclone.

2.5 Os modelos

Os modelos escolhidos foram os mesmos do trabalho realizado por Lacerda (2007). Sendo eles, *RSM (Reynolds Stress Model)* para o cálculo da turbulência. Descrevem fechamentos de turbulência de nível superior e representam o modelo clássico de turbulência mais completo. Esses modelos são baseados na equação precisa de transferência de tensão de Reynolds e podem explicar interações complexas em campos de fluxo turbulentos, como o efeito direcional da tensão de Reynolds (8).

O *SIMPLE* para o acoplamento de pressão-velocidade. Utilizado em solução de fluxos incompressíveis, em que é necessário o acoplamento de velocidade e pressão sem uma equação de estado. Isso pode ser feito por um algoritmo que avalia um balanço de massa na célula. Em que incrementa a pressão se este saldo é negativo ou decrementa se este saldo for positivo (9).

E o modelo *PRESTO!* para a interpolação de pressão. Em que realiza o balanço discreto da continuidade para um determinado volume de controle inercial sobre a face para computar a pressão da face (10).

Além do *UPWIND* para o restante das condições. Seja de primeira ou segunda ordem, esse esquema de interpolação é utilizado em simulações de escoamentos incompressíveis (11).

2.6 Realizando simulações

Com todos os dados definidos, foram rodados os cálculos de maneira a chegar ao critério de 10^{-4} ou a serem realizadas 2000 iterações. No presente trabalho ocorreu à segunda opção.

Após a realização de testes, e a verificação positiva para as simulações feitas, seguiu para a retirada de resultados gráficos e de perfis de diversas variáveis, como velocidade e pressão, em qualquer parte do domínio simulado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

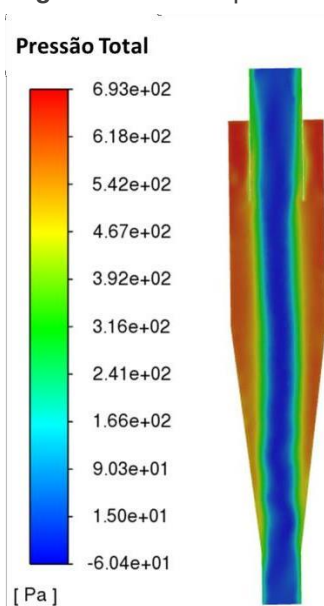
No presente tópico, serão apresentados os resultados obtidos baseados na geometria e nas variáveis descritas, a partir das simulações realizadas no *Ansys*. Além de algumas comparações entre o ciclone CC24, simulado por Lacerda (2007), e o descrito neste artigo, serão apresentados outros gráficos e perfis também importantes.

3.1 Perfil de pressão total e velocidade tangencial

Na Figura 2, é apresentado o perfil de pressão total para o ciclone desenvolvido pelos autores.

Assim que a suspensão gás-sólido é inserida no ciclone, já ocorre uma diminuição progressiva da pressão, o que caracteriza a queda de pressão. Isso se deve a inércia da partícula, que tenderia a igualar o momento do gás nas camadas adjacentes, na direção do fluxo da corrente gasosa. A queda de pressão total no equipamento se deve as perdas na entrada, na saída e dentro do equipamento. Sendo a maior parte da queda correlacionada às perdas internas do ciclone, pois existe a dissipação de energia pelo tensor de viscosidade do fluxo rotacional turbulento. O restante se deve pela contração do fluxo de fluido na saída, expansão na entrada e fricção do fluido na superfície da parede do ciclone (12).

Figura 2: Perfil de pressão total



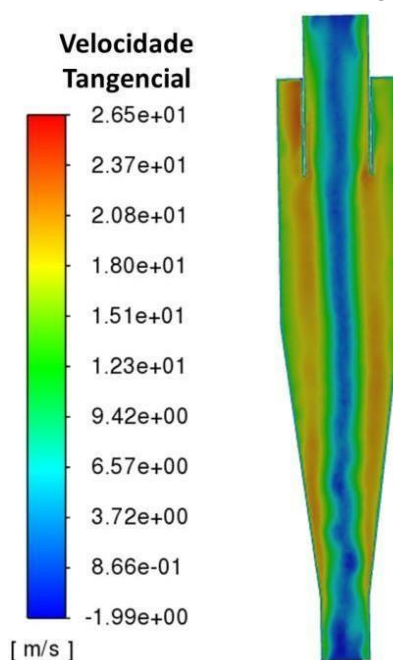
Fonte: Autores,

A variação de pressão apresenta maiores pressões na região próxima à parede e principalmente na parte superior, onde se encontra a entrada. Verificando a parte anular, ela apresenta pressões intermediárias. Isso comparado com as pressões da área delimitada pelas paredes e a região central do ciclone, onde é o local de menor pressão. Esse perfil de pressão também pode ser observado no estudo feito por Lacerda (2007).

Apesar de possuírem perfis similares, é possível notar diferenças entre as simulações. Isso ocorre devido a diferentes condições e hipóteses consideradas. Como por exemplo, no presente artigo foi realizado uma simulação 3D, sem caixa coletora e inserção de partículas, já o feito por Lacerda (2007), foi uma simulação 2D, com caixa coletora e simétrico, ou seja, desenvolveu um lado e espelhou o outro. Todas as diferenças causam alterações nos resultados.

A Figura 3 mostra o perfil de velocidade tangencial feito pelos autores, m que é possível visualizar uma velocidade média nas paredes, alta na região anular e praticamente nula na parte central, por toda a altura do ciclone, assim como o simulado por Lacerda (2007), que apresenta características semelhantes, porém apenas na parte superior do ciclone. Essas diferenças podem ocorrer devido às diferentes condições de simulação.

Figura 3: Perfil de velocidade tangencial



Fonte:Autores.

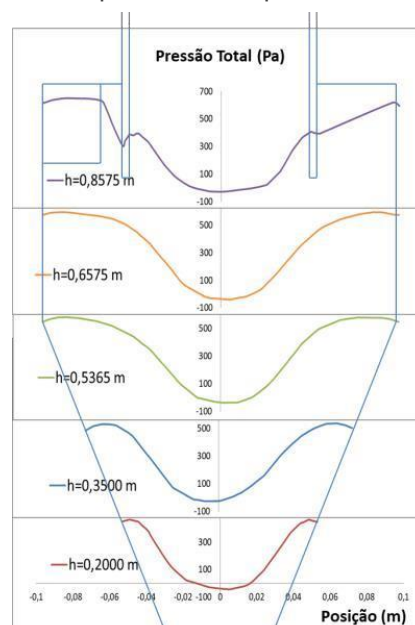
3.2 Gráficos de pressão e velocidades

Para fins de comparação com outros projetos, foram tirados os gráficos de pressão total, Figura 4, velocidade axial e tangencial, mostrados nas Figura 5 e Figura 6, respectivamente, nas alturas de 0,8575 m, 0,6575 m, 0,5365 m, 0,3500m e 0,2000m. A Figura 4 mostra estar em concordância com o resultado adquirido anteriormente, na Figura 2. A Figura 4 é semelhante ao simulado por Bernardo (2005), que possuía como objetivo entender a complexa fluido dinâmica no interior do ciclone.

Em que, em todos os casos, apresentam maiores pressões nas paredes e uma redução na parte central durante toda a altura do ciclone.

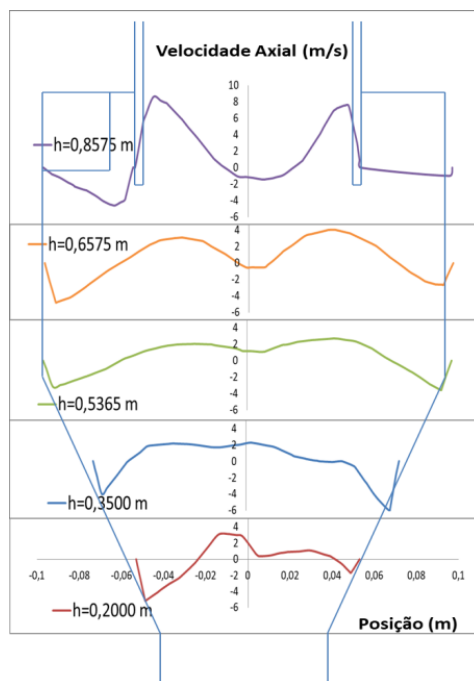
A distorção apresentada na altura 0,8575 metros ocorre devido à perturbação do campo de pressão junto à parede do *vortex finder*, e poderá ser notada em todos os próximos gráficos que serão apresentados.

Figura 4: Gráfico de pressão total para diferentes alturas do ciclone



Fonte: Autores.

Figura 5: Gráfico da velocidade axial para diferentes alturas do ciclone.



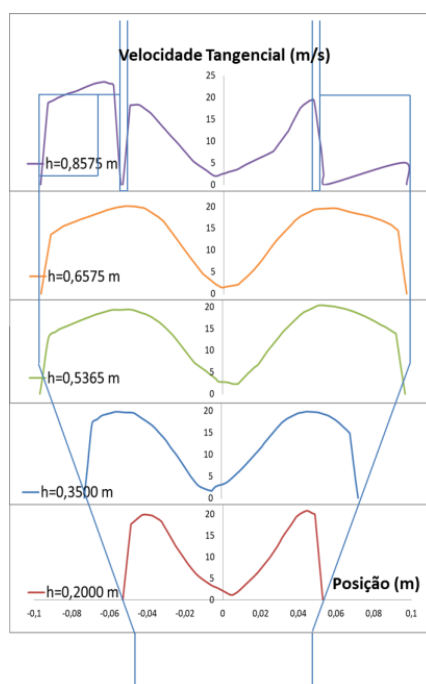
Fonte: Autores.

A velocidade axial é responsável, mais do que a gravidade, por transportar as partículas para o *underflow*. A suspensão sólido-gás escoar na direção descendente perto da parede e ascendente próximo ao eixo do ciclone.

O escoamento descendente apresenta um valor maior próximo à parede, enquanto o escoamento ascendente apresenta perfis com um máximo ou um declive no eixo de simetria (15).

É possível analisar uma magnitude maior da velocidade axial na parede do ciclone na Figura 5, em que os valores de velocidade negativos apenas mostram o sentido do escoamento do fluido, onde as partículas são arrastadas para o *underflow* (2). A região do gráfico em que existe um decaimento, na região central do equipamento, onde a pressão é menor, as partículas saem pelo *vortex finder*. E na região da parte tronco cônica, devido à diminuição da área transversal, ocorre o aumento da velocidade do gás, o que favorece seu carregamento para a parte inferior de coleta do ciclone.

Figura 6: Gráfico da velocidade tangencial para diferentes alturas do ciclone.



Fonte: Autores.

A velocidade tangencial é a maior componente da velocidade do gás no ciclone. Ela determina a intensidade do campo centrífugo, que irá direcionar as partículas radialmente na direção da parede do equipamento. Na região central do ciclone ela se comporta de forma semelhante ao movimento de rotação de corpo rígido, com módulo crescendo proporcionalmente ao raio. Já na região anular externa, a velocidade tangencial é baseada no tipo vorticial livre, decrescendo com o raio. Desse modo é esperado um ponto de máximo que ocorre internamente à região delimitada pelo tubo de overflow. E na direção axial, a variação da velocidade tangencial é muito pequena e por isso, normalmente é desconsiderada (1).

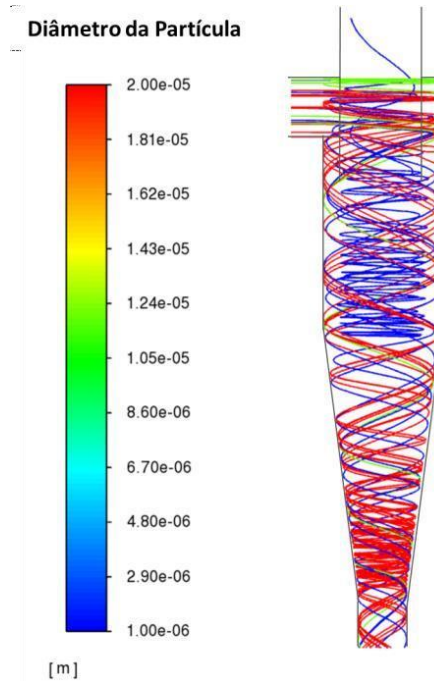
Na Figura 6, o perfil de velocidade tangencial está de acordo com o descrito na literatura. Ocorre um aumento da velocidade à medida que sai do eixo do equipamento e caminha em direção à região delimitada pela parede do *vortex finder*. Logo depois ela sofre um decaimento na magnitude, e tende-se a ser nula próxima a parede.

3.3 Linhas de corrente

A Figura 7 mostra as linhas de correntes para as diferentes trajetórias de saídas, *overflow* e *underflow*. As partículas maiores seguem o fluxo acelerado da periferia sendo coletadas na parte de baixo do ciclone e as menores são arrastadas

pelo fluxo contrário na região central saindo por cima do ciclone. Confirmações também obtidas por Miranda, *et al.* (2010).

Figura 7: Simulação das Linhas de Correntes

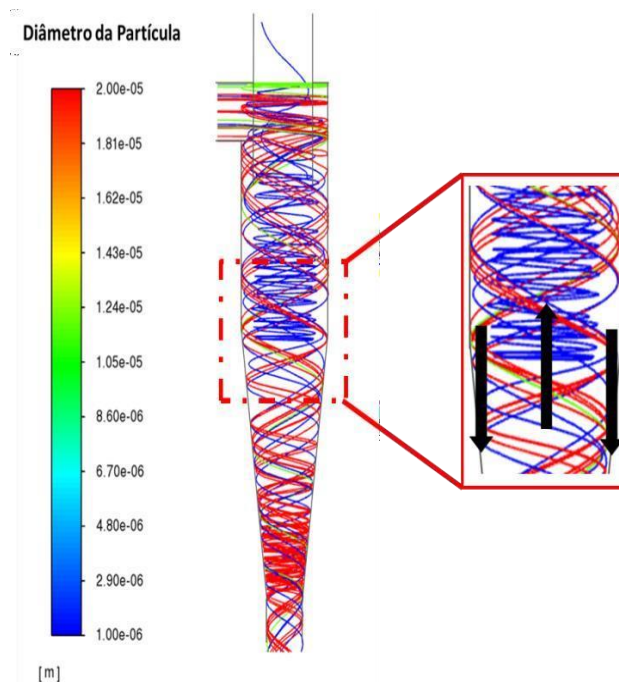


Fonte: Autores

Isso ocorre devido à força centrífuga, que faz com que as partículas movam em direção à parede, perdendo velocidade devido ao atrito, e escoam por ela até a saída inferior, sendo o fluxo externo descendente. Já o gás, ao chegar na parte cônica, devido à convergência da geometria, inverte seu sentido, causando um fluxo interno ascendente (2 e 3).

Uma melhor visualização da inversão do fluxo está na Figura 8 em que tem um destaque no momento exato em que ocorre. Nela está sinalizada a direção dos fluxos interno e externo.

Figura 8: Momento exato da inversão do fluxo



Fonte: Autores.

3.4 Eficiência do ciclone estudado

O ciclone dimensionado neste trabalho apresentou uma eficiência de coleta em cerca de 87,18% e o realizado por Lacerda em 2007, uma eficiência de coleta de aproximadamente 94%. Essa disparidade pode estar relacionada a diferença dos métodos utilizados, o deste artigo feito em simulação e o encontrado por Lacerda (2007), experimentalmente.

A abordagem neste artigo foi em 3-D e com injeção de rocha fosfática no fluido a ser separado. Os modelos utilizados na simulação geraram os resultados próximos a uma realidade física de separação. E as considerações utilizadas podem ter influenciado na porcentagem, mas não é uma diferença discrepante dos dados experimentais.

4. CONCLUSÕES

Diante do exposto, este trabalho teve como principais objetivos o estudo da fluido dinâmica de um ciclone com dimensões já estudadas anteriormente por Lacerda (2007). O uso da CFD para verificar o desempenho de coleta deste ciclone na filtração de partículas em um fluido. E a intenção de uma revisão que reforce a boa dinâmica

do denominado, ciclone convencional 24 (CC24), para futuros trabalhos empíricos.

Com isso, constatou-se que os resultados obtidos nesta nova simulação são fisicamente bem semelhantes com os realizados por Lacerda (2007). Ademais, compreendeu o estudo do perfil de pressão, velocidade tangencial e axial do ciclone. Além do perfil das linhas de correntes, que seguiu a física apresentada na literatura. Com a corrente basicamente em duas nuvens, uma descendente e outra ascendente.

Finalizando, o ciclone aqui simulado apresentou uma eficiência de coleta de aproximadamente 87,18%, próxima ao experimental de Lacerda (2007). No entanto, a diferença pode-se dever ao processo ser dinâmico, ou seja, sempre irá haver variações, além das diferentes considerações feitas, visto que, os resultados comparados são de um trabalho experimental e de uma simulação. E pela proximidade com o dado experimental, este artigo pode ser base para outros trabalhos que visem o estudo de um ciclone eficiente, para o desenvolvimento e construção dessas engenharias.

REFERÊNCIAS

BOF, C. G. Desenvolvimento de um ciclone para separação de material particulado de uma corrente de gás de combustão de coqueria “heat recovery”. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, 2018.

LACERDA, A. F. Estudo dos efeitos das variáveis geométricas no desempenho de ciclones convencionais e filtrantes. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

PEÇANHA, R., Sistema particulados: operações unitárias envolvendo partículas e fluidos. 1ª Ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2014.

Software Ansys Fluido dinâmica. Disponível em:
<<https://www.esss.co/ansys/fluidodinamica/>>. Acesso em: 01 set. 2021.

Ansys Designmodeler. Disponível em: < <https://www.ozeninc.com/ansys-workbench/ansys-designmodeler/>>. Acesso em: 01 de set. 2021.

SILVA, A. B. Utilização de Fluidodinâmica Computacional (CFD) na Simulação de Vazamentos em Dutos. UFRJ/COPPE/Programa de Engenharia Mecânica, 2016.

VIEIRA, L. G. M. Otimização dos Processos de Separação em Hidrociclones Filtrantes. Universidade Federal de Uberlândia, 2006.

Compreendendo os modelos de tensão Reynolds (RSM) para modelagem de turbulência. Disponível em:<<https://cfdisraelblog.wpcomstaging.com/2018/01/23/understanding-reynolds-stress-models-rsm-for-turbulence-modeling-part-i/>>. Acesso em: 06 set. 2021.

Dinâmica dos Fluidos Computacionais – Aula 5 – Solução da Equação da Quantidade de Movimento. Disponível em:
<http://sites.poli.usp.br/d/pme2556/PME2556_aula5.pdf>. Acesso em: 06 set. 2021.

SAVINO, J. Deslocamento de fluidos em poços não retilíneos. 2009. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.

Gaspar¹ P. D., Pitarma² R. A. Esquemas de discretização em escoamentos com regime de convecção mista: Estudo de caso. Universidade da Beira Interior¹, Instituto Politécnico da Guarda², 2003.

SILVA, M. K. da. Estudo de Modelagem Numérica Tridimensional de Ciclones do Tipo Lapple para Separação Gás-Sólido. Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

BERNARDO, S., Estudo dos Escoamentos Gasoso e Gás-Sólido em Ciclones pela Aplicação de Técnicas de Fluidodinâmica Computacional (CFD). FEQ/UNICAMP, Campinas, 2005.

Miranda C.B.N., Duque G.W.D., Silva J.A., Teixeira F.N. Simulação numérica do escoamento em um ciclone separador usando CFD. Universidade Federal de São João Del-Rei – Minas Gerais, 2010.

CRUZ, F. S. Estudo do escoamento de gás no interior de ciclones através da técnica de fluido dinâmica computacional. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

CAPÍTULO 16

ANÁLISE DE RISCOS DE UM REATOR LEITO FIXO EMPREGADO NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE ACETONA VIA DESIDROGENAÇÃO DO ISOPROPANOL PELO MÉTODO HAZOP E ÁRVORE DE EVENTOS

Mikaela Polyana Andrade Silva

Graduada em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei/MG, CEP: 36307-352

E-mail: mikaelapaes@gmail.com

Renata Cristina Felix da Rocha

Graduada em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei/MG, CEP: 36307-352

E-mail: renatafelizrocha@gmail.com

Aderjane Ferreira Lacerda

Doutora em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei/MG, CEP: 36307-352

E-mail: aderjane@ufsj.edu.br

Reimar de Oliveira Lourenço

Doutor em Engenharia Química

Instituição: Universidade Federal de São João Del Rei

Endereço: Praça Frei Orlando, 170, Centro, São João Del Rei/MG, CEP: 36307-352

E-mail: reimar@ufsj.edu.br

RESUMO: A indústria da acetona é majoritariamente demandada pelo setor de solventes e vem apresentando uma tendência de crescimento nos últimos anos. A rota para obtenção da acetona é feita a partir da desidrogenação do isopropanol, e a reação de conversão acontece em um reator com leito fixo. Falhas neste equipamento podem diminuir a eficiência do processo, segurança operacional, riscos ao meio ambiente, e até mesmo em um acidente catastrófico. Por isso, é de suma importância conhecer os possíveis riscos do processo, e ter dados para possíveis ações de prevenção. Neste trabalho foi feita a análise de risco no reator, seguindo o método HAZOP e método Árvore de Eventos. A partir do método HAZOP, identificou-se os principais eventos que causariam uma consequência extremamente perigosa, como uma possível explosão do reator, que foram o superaquecimento e a sobrepressão do equipamento. Com esta conclusão, realizou-se uma análise quantitativa, através de uma Árvore de Eventos onde obteve-se uma taxa de 0,04 explosões por ano para o caso de ocorrência de superaquecimento ou sobrepressão do equipamento. Para o caso de interrupções do processo, obteve-se uma taxa de ocorrência de 0,36 por ano, ou seja, uma ocorrência possível a cada 2,78 anos.

PALAVRAS-CHAVE: Análise De Risco; Reator; HAZOP; Árvore De Eventos.

ABSTRACT: The acetone industry is mainly demanded by the solvent sector and has been showing a growth trend in recent years. The route to obtain acetone is made from

the de hydrogenation of isopropanol, and the conversion reaction takes place in a fixed bed reactor. Failures in this equipment can decrease the efficiency of the process, operational safety, risks to the environment, and even a catastrophic accident. Therefore, it is of paramount importance to know the possible risks of the process, and to have data for possible preventive actions. In this work, risk analysis was carried out in the reactor, following the HAZOP method and the Event Tree method. From the HAZOP method, the main events that would cause an extremely dangerous consequence, such as a possible explosion of the reactor, which were the overheating and overpressure of the equipment, were identified. With this conclusion, a quantitative analysis was carried out, through an Event Tree where a rate of 0.04 explosions per year was obtained for the case of occurrence of overheating or overpressure of the equipment. For the case of process interruptions, an occurrence rate of 0.36 per year was obtained, that is, a possible occurrence every 2.78 years.

KEYWORDS: Risk Analysis; Reactor; HAZOP; Event Tree.

1. INTRODUÇÃO

A acetona é um líquido altamente inflamável, miscível em água e álcoois de baixo peso molecular, volátil, com odores e sabor característicos, cuja fórmula molecular é $\text{CH}_3(\text{CO})\text{CH}_3$ [1]. Em 1595, foi obtida pela primeira vez a partir do acetato de chumbo por Libavius utilizando o método da *dry destillation*, ou destilação sob baixa pressão[2].

Popularmente conhecida como removedora de esmaltes, a acetona possui outras utilidades na indústria química, sendo a principal delas como solvente. Sua aplicação como solvente pode ser observada na manufatura de plásticos, intermediária para a produção de metil metacrilato e bisfenol A, além de produtos industriais como, por exemplo, cosméticos, removedor de goma, óleo e outras substâncias pegajosas dos tecidos crus, desengordurante de superfícies metálicas, entre outras aplicações [3]. Pela sua vasta utilização nas indústrias previamente citadas, fica evidente a fundamental importância da produção de acetona para a sociedade.

Existem diferentes rotas para obtenção da acetona, atualmente, a tecnologia que vem ganhando destaque é a produção a partir da desidrogenação do isopropanol (do acrônimo IPA, em inglês: *iso-propyl alcohol*). Isso por apresentar um maior rendimento, obtendo taxas de conversão de até 90%, valor consideravelmente elevado comparado com outras rotas existentes [4]. Além disso, a acetona produzida não possui traços de compostos aromáticos, particularmente o benzeno, sendo extremamente vantajosa, principalmente, para a indústria farmacêutica devido às restrições muito rígidas impostas na área [5].

A reação que converte o isopropanol em acetona e gás hidrogênio acontece em um reator com leito fixo (PBR) que é composto em seu interior por catalisadores, que são partículas sólidas que contribuem nas reações químicas. É uma reação heterogênea e ocorre em fase gasosa, sendo necessário uma temperatura relativamente alta na conversão, que é mantida constante por meio de aquecedores, que circulam ao redor dos tubos com operação semelhante a um trocador de calor [6].

Sendo assim, é possível afirmar que o uso do reator na planta de produção de acetona é indispensável, sendo de suma importância garantir que seu funcionamento ocorra de maneira a manter o sucesso na conversão e na segurança geral do processo. Embora distintas estratégias de controle sejam definidas para cada etapa do processo

(aquecimento, controle de entradas e saídas de reagentes, resfriamento, controle de pressão etc.), a transição entre uma etapa e outra pode causar oscilações no controle de temperatura, prejudicando a qualidade do produto, vida útil do reator, consumo desnecessário de energia e potenciais riscos à segurança do processo em relação ao meio ambiente e à saúde dos operadores [7].

As análises de riscos dos processos químicos são importantes para mitigar os perigos e, assim, prevenir que acidentes ocorram e que vidas sejam perdidas. A identificação e análise da severidade de um perigo associado a um processo permite o gerenciamento de riscos da operação e, conseqüentemente, melhora a segurança. Para as indústrias é extremamente vantajoso o uso de técnicas de Análise de Perigo, seja de cunho qualitativo, quantitativo e/ou semiquantitativo, para identificar fraquezas que possam levar a eventos indesejados nos projetos e operações [7].

Tendo em vista a relevância do reator no processo, os riscos a pessoas e ao meio ambiente associados a tal equipamento e as vantagens do uso das análises de perigo, o presente trabalho tem como objetivo fazer duas análises de risco no reator PBR, sendo elas, a qualitativa seguindo o método HAZOP (*Hazards and Operability Study*), e a quantitativa utilizando o método Árvore de Eventos (*Event Tree Analysis, ETA*). Para assim, obter os possíveis riscos do processo, e ter subsídios para planejar as melhores ações de prevenção de perdas no processo.

2. REVISÃO

2.1 Acetona

A produção industrial da acetona teve início na Primeira Guerra Mundial, através do desenvolvimento de um processo fermentativo usando carboidratos. Nesse processo, feito pelo químico russo Chaim Weizman, utilizou-se uma bactéria ainda desconhecida na época, que mais tarde foi identificada como *Clostridium acetobutylicum* [8].

A acetona é um composto orgânico, com nome oficial 2-propanona, é componente incolor, inflamável, com ponto de ebulição de 56 °C e ponto de fusão de -95°C. Possui massa molar de 58,08 kg/m³ e fórmula molecular (CH₃)₂CO [9].

Considerada um solvente orgânico ela é capaz de dissolver gorduras, resinas e ésteres celulósicos. Também é utilizada na fabricação de fibras artificiais e explosivos. A acetona também é reagente na síntese do bisfenol, que é utilizado na

obtenção de plásticos de polycarbonato e resinas epóxi, que são matérias-primas utilizadas na produção desde uma garrafa até na indústria automobilística. Como um último exemplo, destaca-se a sua participação como um aditivo da gasolina, por facilitar a evaporação e consequente difusão do gás dentro do motor, aumentando assim a eficiência do combustível [3].

2.2 Álcool isopropílico

O álcool isopropílico (IPA), também conhecido como isopropanol, 2-propanol, dimetil carbinol e sec-propil álcool, é um líquido translúcido, inflamável e volátil, de fórmula molecular C_3H_8O e massa molecular de 60,09 g/mol, densidade de 0,786 g/mL a 20°C, ponto de fusão igual a - 90°C, ponto de ebulição igual a 82,6°C, pKa 16,5, sendo solúvel em água e vários outros álcoois, clorofórmio, éter, glicerina, benzeno e acetona [1]. O isopropanol, em concentrações na faixa de 60-90%, possui eficiente propriedade desinfetante contra microbactérias, bactérias, vírus encapsulados e alguns fungos. Está presente em itens de limpeza domésticos e pessoais e em produtos farmacêuticos, como artigos de higiene pessoal, devido à baixa toxicidade em contato com a pele. Além disso, é utilizado amplamente como solvente nas indústrias de químicas, e como matéria-prima para produção de acetona e outros componentes [10].

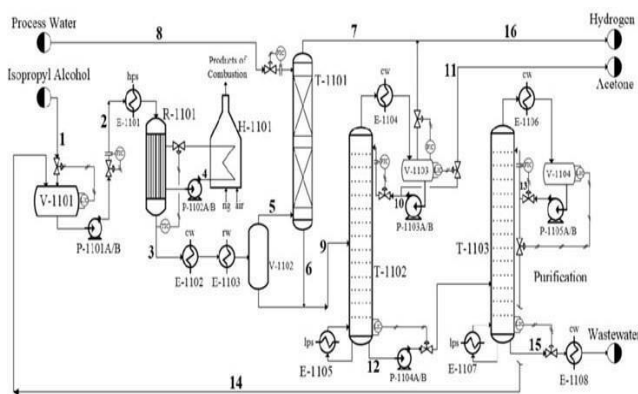
2.3 Processo de produção da acetona

O processo de desidrogenação do isopropanol proposto por Turton et al. [5] pode ser observado no esquema da Figura 1, em que é alimentado uma mistura de álcool isopropílico e água no vaso de pressão (V-1101), misturado com o IPA não reagido e água (corrente 14). Então a mistura é bombeada e vaporizada antes de entrar no reator (R-1101)[5].

A corrente 4 é uma corrente de circulação, composta por sal fundido, responsável por fornecer o calor necessário para a reação endotérmica que ocorre no reator. O produto do reator, composto por acetona, hidrogênio, água e IPA que não reagiu, é resfriado por dois trocadores de calor (E- 1102 e E-1103), antes de entrar no separador de fases (V- 1102). O vapor, produto de topo do separador é lavado com água para recuperar a acetona, então, o líquido é misturado com o líquido proveniente

do separador que vai para duas torres de destilação que separam a acetona e removem o excesso de água do IPA não reagido, que é reciclado no início do processo como uma mistura azeotrópica [5].

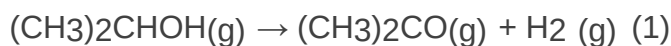
Figura 1. Planta de produção de acetona apresentada por Turton et al. [5].



Fonte: Autores.

Reação de desidrogenação

Uma das principais fontes de obtenção de acetona é a desidrogenação catalítica do álcool isopropílico. A reação descrita abaixo é a de conversão do álcool isopropílico em acetona.



Nessa reação, há geração de gás hidrogênio como subproduto. As indústrias podem seguir com esse processo em via líquida ou gasosa. A reação ocorre em fase gasosa sobre um determinado catalisador [5]. Quando o processo ocorre em fase gasosa, são utilizados catalisadores de cobre ou zinco, além disso, o processo acontece em temperaturas mais elevadas, em torno de 300 a 400°C. Devido a manutenção da temperatura na faixa considerada ideal, o rendimento é de aproximadamente 90%, tornando-se necessária a separação da acetona e do azeótropo formado com o 2-propanol. O catalisador usado no processo é o de Cu-SiO₂ em um reator de leito fixo [11].

2.4 Reator PBR

No reator (R-1101) ocorre a reação em que o isopropanol é convertido em acetona e gás hidrogênio. O tipo de reator utilizado no processo é chamado de

reator catalítico de leito fixo ou PBR (*Packed Bed Reactors*). É composto em seu interior por catalisadores, que são partículas sólidas que contribuem nas reações químicas. Além disso, é necessária uma temperatura relativamente alta na conversão, e o reator de leito fixo tem a facilidade de controle da temperatura para não formar pontos quentes nesses casos de reações que liberam energia. Uma vantagem desse reator é proporcionar a maior conversão para a maior parte das reações por massa de catalisador [6]. O processo é realizado a uma temperatura de cerca de 400°C. A temperatura é mantida constante por meio de aquecedores, que circulam ao redor dos tubos como operação semelhante a um trocador de calor. Para que exista uma constância na temperatura do fluido de transferência de calor ao longo do reator, é necessário que a vazão do fluido que transfere calor seja bastante alta em relação ao calor que é liberado pela mistura que reage [6].

2.5 Análise de risco

A avaliação de riscos de um sistema consiste na utilização de todas as informações disponíveis para estimar o risco para indivíduos ou populações, bens ou ambiente, a partir da identificação do perigo e visando a busca por soluções ótimas. As vantagens da avaliação de um cenário baseado no risco são: levar em conta tanto as probabilidades quanto as consequências, constituir uma base para comparar os efeitos de diferentes cenários e integrar os efeitos de todos os tipos de cenários [12].

Uma análise de risco geralmente contém as seguintes etapas: definição do escopo, identificação do perigo, modelagem de cenários de risco, estimativa de consequências, estimativa de probabilidades e estimativa de riscos. As primeiras três etapas são consideradas como a parte qualitativa e as últimas três etapas como a parte quantitativa [12].

2.6 Análise quantitativa

A Análise Quantitativa de Riscos, *Quantity Risk Analysis* (QRA), é um método que ajuda a avaliar e gerenciar a segurança do processo industrial para reduzir o risco. Para tanto, esta análise de risco examina as possíveis causas de eventos de perda utilizando métodos como Árvore de Falhas e/ou Árvore de Eventos [13]. Ao identificar e avaliar os riscos relacionados ao processo, os engenheiros garantem que

os riscos para os funcionários, o público e o meio ambiente sejam controlados, determinando quais são os riscos potenciais e a probabilidade de ocorrência. A análise quantitativa é realizada antes da análise referente ao ponto anterior e tem como objetivo atribuir uma classificação numérica aos riscos. Para auxílio dessa análise utiliza-se um método como o PERT que será tratado no ponto seguinte [14].

2.7 Análise qualitativa

A Análise Qualitativa, *Process Hazard Analyses* (PHA), é um processo que permite analisar a probabilidade e o impacto de cada risco e atribuir uma prioridade. A avaliação desta prioridade será feita através da aplicação de uma matriz de probabilidade/impacto. O objetivo desta análise é complementar a análise quantitativa e apoiar o planejamento para identificar os riscos que podem afetar o projeto. Além disso, as técnicas qualitativas são utilizadas para analisar potenciais erros humano ou falhas de equipamentos [14].

2.8 Hazop

O HAZOP (*Hazards and Operability Study*) é uma técnica de *brainstorming* usada para identificar e abordar perigos associados a processos químicos. O método envolve fazer perguntas sobre possíveis desvios no processo ou partes do processo. O HAZOP é sempre feito por uma equipe com expertise em engenharia e operações de processos, com conhecimento e experiência no processo em análise e boa compreensão do método HAZOP [15].

O principal objetivo do HAZOP é investigar minuciosamente e metodicamente cada parte do processo, focando em seus pontos específicos (chamados de nós) por vez. O resultado esperado é descobrir todos os possíveis desvios das condições normais de operação, determinar as causas e as consequências correspondentes de tais desvios. Uma vez verificadas as causas e consequências de cada desvio, devem ser propostas medidas para eliminar ou controlar o perigo ou abordar a operacionalidade da planta. É importante enfatizar que o HAZOP se preocupa tanto com questões de segurança, buscando identificar perigos que possam colocar operadores e equipamentos em risco, quanto com questões de operacionalidade ou eficiência do processo que, embora não sejam perigosas, podem resultar em perda de produção

ou afetar a qualidade do produto [15].

2.9 Árvore de eventos

O método de Árvore de Eventos (*Event Tree Analysis* – ETA) se baseia num esquema lógico, que permite ligar, por método indutivo, os acontecimentos iniciadores às consequências que podem provocar, calculando as probabilidades associadas. É um dos métodos mais usados na precificação de opções, devido à sua facilidade de uso, versatilidade e precisão. Para modelos de tempo discreto, eles são representados por árvores, com nós incertos que descrevem o comportamento provável de fatores aleatórios, e podem ser representados de forma simplificada ou por redes com múltiplas ramificações. O uso de ramais é flexível e pode ser ajustado à medida que a situação inicial muda. Essa flexibilidade o torna atraente para aplicativos de modelagem de opções. A principal desvantagem ocorre quando as filiais atingem grandes tamanhos, o que pode dificultar sua construção e avaliação [16].

A árvore é construída na base de dois princípios fundamentais, o sucesso e a falha. É apresentado através de um gráfico ramificado em que está representado por eventos que possam acontecer, sendo que tem início um evento inicial (situação insatisfatória). Se o caminho subir no nó, indica que é um sucesso, caso desça, indica que falhou [17].

3. METODOLOGIA

No presente trabalho foi realizada uma análise de risco do processo utilizando as ferramentas Qualitativa (HAZOP) e Quantitativa (Árvore de Eventos).

A princípio, foi construída uma planilha baseada no método HAZOP para descobrir os possíveis desvios das condições normais de operação do reator PBR utilizado no processo de fabricação da acetona. A partir dele, foi-se identificando as causas responsáveis por possíveis anormalidades e as respectivas consequências, em diferentes pontos do sistema, que são os chamados nós de estudo. Com o HAZOP, procurou-se também propor medidas para eliminar ou controlar o perigo destes pontos [15].

Além disso, a partir da análise do resultado final obtido com o HAZOP, foi utilizado o método da Árvore de Eventos, para que fosse possível interligar as

principais e mais perigosas consequências de um mal funcionamento do reator, na qual se constatou uma possível explosão desse equipamento. Após a construção dessa Árvore de eventos então para os dois principais problemas, definidos como superaquecimento e sobrepressão do reator, calculou-se as probabilidades de ocorrência dos eventos associados [16]. Para a construção da Árvore de Eventos, foi utilizado então duas graves consequências que poderiam ocorrer e foram identificadas na análise qualitativa: superaquecimento e sobrepressão. Definiu-se como falhas de equipamentos possíveis a falha, tanto para o alarme de temperatura, quando para o alarme de pressão, para cada um dos casos. Posteriormente, indicou-se os sistemas de segurança ou ações que poderiam amortecer o efeito do evento inicial. A estrutura diagramática que descreve estes resultados em uma série de eventos discretos conectados entre si constitui-se em uma Árvore do Evento. Cada ramo representa um estado possível do sistema [16].

Para auxiliar na análise, discussão e melhor visualização dos resultados coletados, foram construídas tabelas e outros recursos visuais.

Definiu-se então três funções de segurança para referente a falha aumento de pressão, sendo elas:

1. Operador observa a alta pressão;
2. Acionamento da válvula de alívio de pressão;
3. Desligamento do sistema do reator.

Para o superaquecimento definiu-se, com o mesmo critério, três funções de segurança que foram:

1. Operador observa aumento da temperatura;
2. Resfriamento iniciado manualmente;
3. Desligamento do sistema do reator.

Para os posteriores cálculos de probabilidade, foram estipuladas condições para os eventos.

Estimou-se então que a falha do alarme de pressão e de temperatura, que são as primeiras falhas de evento, podem ocorrer 1% das vezes em que deveriam ser funcionadas.

Para o primeiro evento de segurança, que seria o caso de o operador observar um mal funcionamento, estimou-se que este o faz em 4 de cada 5 vezes, possibilitando uma falha então de 20%.

Para o segundo evento de segurança, que seria o caso do resfriamento manual

realizado pelo observador, estimou-se que este o faz também em 4 de cada 5 vezes, possibilitando uma falha então de 20%.

Para o último evento de segurança, que seria o desligamento de todo o sistema do reator, estipulou-se que este consegue interromper o funcionamento deste sistema 90% das vezes, o que possibilitaria ainda uma falha de 10%.

A partir dessas estimativas de falha e utilizando a notificação alfabética para cada possível evento de falha, foi construída a Árvore de Eventos e calculada as probabilidades de falhas associadas a ela.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro passo para a análise de riscos do reator PBR do processo de produção da acetona via desidrogenação do IPA, foi a construção de uma planilha baseada no método HAZOP.

O HAZOP necessita, primeiramente, que a planta do projeto se divida em nós de estudos e a análise do processo em palavras-guia. Assim sendo, as etapas têm o intuito de aplicar a cada parâmetro de processo do nó de estudo uma palavra guia, resultando em desvios de intenção operacional, proporcionando a capacidade de analisar as causas, assim como, sugerir soluções ou mitigação para essas causas, por meio de perguntas e respostas. Ao final de cada ponto averiguado, segue-se com a análise do próximo nó de estudo, continuando a adotar palavras guias aos parâmetros de processo [18].

Como a avaliação foi feita apenas para o sistema do reator, identificou-se este equipamento como o ponto de estudo. A partir disso, pode-se também identificar os principais parâmetros operacionais planejados do sistema nesse ponto: temperatura, taxa de fluxo, pressão e reação.

Através desta definição de parâmetros, a metodologia HAZOP foi aplicada, sendo utilizadas como guias as palavras que caracterizam desvios, como mais, menos, etc. Assim, definiu-se possíveis causas, possíveis consequências e possíveis ações que poderiam corrigir o problema [18].

O HAZOP será apresentado nas Tabela 1, 2, 3 e 4 a seguir. O nó utilizado sempre foi o reator PBR.

Tabela 1. HAZOP aplicado no reator para o parâmetro: Temperatura.

Estudo de Perigos e Operabilidade - HAZOP			
Nome do projeto: HAZOP Reator PBR			
Processo: Produção de acetona via desidrogenação do IPA			
Seção: Reator R-1101			
Mais, maior	Falha de trocador de calor	Aquecimento do reator e consequente explosão	- Instalar alarme de alta temperatura para alerta do operador em caso de mal funcionamento dos trocadores de calor
Menos, menor		Favorecimento da reação inversa no reator	

Fonte: Autores.

Tabela 2. HAZOP aplicado no reator para o parâmetro: Fluxo do fluido.

Estudo de Perigos e Operabilidade - HAZOP			
Nome do projeto: HAZOP Reator PBR			
Processo: Produção de acetona via desidrogenação do IPA			
Seção: Reator R-1101			
Desvios	Possíveis causas	Possíveis consequências	Ação Necessária
Não, nenhum	Entrada de fluido obstruída	- Aquecimento do reator	- Instalação de um filtro e garantir seu funcionamento e manutenção. - Instalar alarme de alta temperatura.
	Saída do fluido obstruída	- Acúmulo de produtos e reagentes no reator	- Instalar válvula do tipo falha aberta e manter uma inspeção periódica para garantir integridade da válvula.
	Válvula de controle fechada		
Mais, maior	Falha completamente aberta na válvula	- Aumento excessivo da vazão de entrada do tanque - Transbordo de material - Perda de matéria prima	- Inspeção periódica para garantir integridade da válvula
	Abertura completamente da válvula pelo controlador de nível		Inspeção periódica para garantir integridade do controlador
	Falha operacional. Abertura da válvula falha		- Capacitação do operador - Elaboração de procedimento operacional
Menos, menor	Obstrução da linha	- Incrustação de material nas paredes internas do reator - Interrupção do processo - Perda de matéria prima - Aumento da temperatura	- Instalação de um filtro e garantir seu funcionamento e manutenção. - Instalar alarme de alta temperatura.
Bem como	Contaminação da matéria prima	Diminuição da conversão do produto desejável	- Avaliação periódica da qualidade de matéria prima e produto final
Inverso	Falha de fornecimento de matéria prima	Volta de material pela tubulação de entrada, fluxo inverso e aumento da temperatura	- Inspeção periódica no controlador de nível e do alarme de alta temperatura

Fonte: Autores.

Tabela 3. HAZOP aplicado no reator para o parâmetro: Pressão.

Estudo de Perigos e Operabilidade - HAZOP			
Nome do projeto: HAZOP Reator PBR			
Processo: Produção de acetona via desidrogenação do IPA			
Seção: Reator R-1101			
Mais, maior	Fluxo obstruído	Explosão	- Instalar manômetro e alarme para alerta do operador em caso de problemas relativos ao mal funcionamento do sistema de pressão
Menos, menor	Vazamento e perda de carga	Abaixamento da velocidade de escoamento	

Fonte: Autores.

Tabela 4. HAZOP aplicado no reator para o parâmetro: Reação.

Estudo de Perigos e Operabilidade - HAZOP			
Nome do projeto: HAZOP Reator PBR			
Processo: Produção de acetona via desidrogenação do IPA			
Seção: Reator R-1101			
Desvios	Possíveis causas	Possíveis consequências	Ação Necessária
Não, nenhum	Sem entrada de matéria prima	Interrupção do processo e atraso da produção	- Instalação de sensor de nível no tanque de matéria prima e garantir seu bom funcionamento. - Instalação de entrada de matéria prima auxiliar no tanque de armazenamento, com alimentação manual (bomba manual)
Menos, menor	Acúmulo de produto	Favorecimento da reação inversa no reator	- Constante verificação da qualidade de composição do produto da reação
	Temperatura inadequada		- Instalar alarme de alta temperatura para alerta do operador em caso de mal funcionamento dos trocadores de calor
	Falha no fluxo de matéria prima		- Instalação de entrada de matéria prima auxiliar no tanque de armazenamento, com alimentação manual (bomba manual)

Fonte: Autores.

De acordo com os resultados encontrados, percebe-se que os eventos que são capazes de criar um evento drástico, como uma explosão, são relativos ao aumento de temperatura e de pressão. Além, outros eventos relativos ao fluxo do fluido também demonstram uma possibilidade de causar o aumento da temperatura.

Dentro desta análise, observou-se que as principais ações para se evitar o acidente estão relacionadas a instalação e manutenção de alarmes que indiquem um aumento de temperatura, que está atrelado ao funcionamento do trocador de calor do reator e ao aumento de sua pressão. Sendo assim, esses alarmes requerem um cuidado mais minucioso, uma vez que são de extrema importância para a segurança

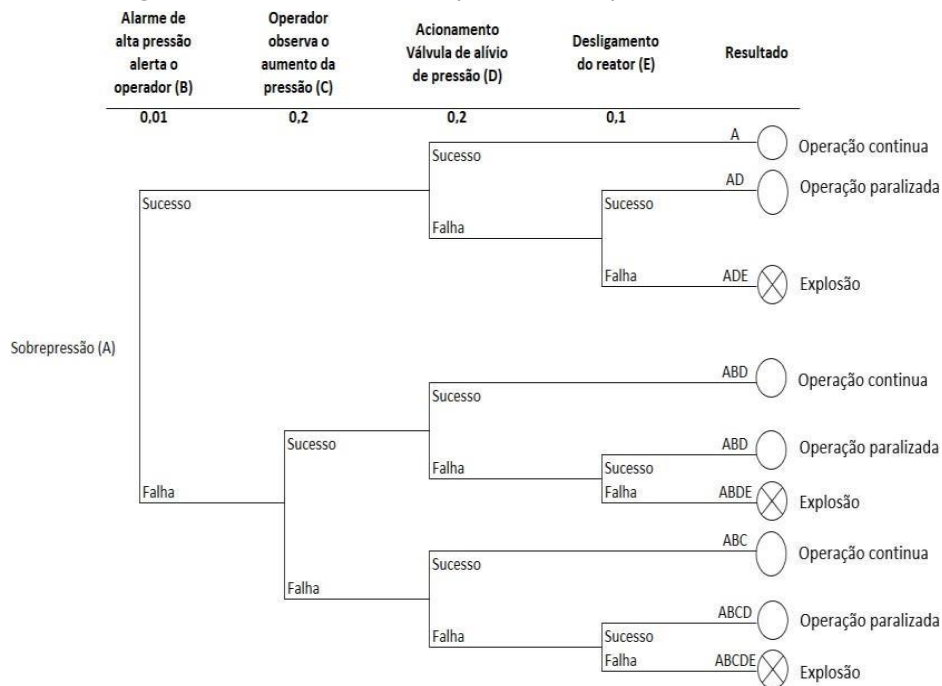
Ainda, além de avaliar as possíveis causas de falhas, deve-se avaliar qual a probabilidade deste evento de explosão ocorrer mesmo com a presença dos alarmes de temperatura e pressão. Para isto, realizou-se também uma análise quantitativa, através da Árvore de Eventos.

Para o estudo através deste método, foi necessário definir as funções de segurança que levarão a um resultado final, verificando se houve falha ou sucesso da função. Os eventos de topo foram definidos a partir do HAZOP, que indicou que o pior evento que poderia ocorrer ao reator, no caso a explosão devido ao superaquecimento ou sobrepressão. Construiu-se então duas árvores de eventos, com o intuito de avaliar quais das falhas de segurança teriam maior probabilidade de gerar a explosão (evento considerado topo).

Figura 2. Árvore de Eventos para o Superaquecimento do Reator.



Figura 3. Árvore de Eventos para a Sobrepressão do Reator.



Fonte: Autores.

Para ambas as árvores, pode-se observar que há um sistema de segurança que deve alertar o operador em caso de aumento inadequado tanto de pressão, quanto de temperatura. E, em caso de sucesso do alarme, ou seja, ele indicou a falha, o operador estará apto a resolver o problema, seja realizando um resfriamento ou acionando a válvula de alívio de pressão [18].

Entretanto, caso não ocorra esta intervenção do operador, este ainda poderá evitar o acidente realizando a parada do reator. De acordo com estudo, esta é a última chance de parada do evento indesejável, caso haja falha, o evento culminará numa explosão do reator.

É de extrema importância avaliar os possíveis resultados determinados por uma árvore de eventos. Toda falha e sucesso dos eventos podem resultar em três eventos finais: a continuação da operação após a correção da falha, a interrupção do funcionamento da planta e o acidente por explosão [18].

Na tabela 5 a seguir, demonstra-se os resultados obtidos para as probabilidades de cada evento ocorrer através das estimativas previamente determinadas.

Tabela 5. Taxa de ocorrência dos diferentes eventos da árvore de eventos referente ao superaquecimento e sobrepressão.

Ramificação	Taxa de ocorrência (ocorrência/ano)	de Resultado
A	0,792	Operação Continua
AD	0,1782	Operação Interrompida
ADE	0,0198	Explosão
AB	0,0064	Operação Continua
ABD	0,00144	Operação Interrompida
ABDE	0,00016	Explosão
ABC	0,0016	Operação Continua
ABCD	0,00036	Operação Interrompida
ABCDE	0,00004	Explosão

Fonte: Autores.

É importante salientar que estas probabilidades são calculadas em caso de ocorrência de aquecimento e em caso de ocorrência de sobrepressão. Não foram analisadas neste estudo as probabilidades de os eventos topos ocorrerem, apenas as probabilidades de suas possíveis consequências em caso de falha de segurança.

Analisa-se então as três situações possíveis de resultados dos eventos, sendo estas: continuamento da operação, a interrupção da operação e a explosão.

Caso se continue o funcionamento, significa que o operador esteve ciente do problema e pode tomar algumas medidas de segurança para evitar que danos maiores ocorressem ao reator. Dessa forma, sua taxa de ocorrência é calculada pela soma de todas as ramificações que demonstram como final evento o “Operação Continua”.

Em caso de interrupção operacional, duas das três medidas de segurança foram bem-sucedidas. Sua taxa de ocorrência é calculada pela soma de todas as ramificações que demonstram como final evento o “Operação Interrompida”.

Finalmente, para o caso de explosão, em que houve falha de todas as medidas de segurança, a incidência dessa possibilidade é calculada somando-se todas as consequências que fazem o processo explodir. A Tabela 6 abaixo demonstra as taxas de ocorrência e porcentagem da probabilidade de ocorrência.

Tabela 6. Taxa de ocorrência dos diferentes resultados.

Resultado	Taxa de ocorrência (ocorrência/ano)	Porcentagem de possibilidade de ocorrência
Operação Continua	1,6	80%
Operação Interrompida	0,36	18%
Explosão	0,04	2%

Fonte: Autores.

Assim, obtém-se uma taxa de 0,04 explosões por ano em caso de superaquecimento ou sobrepressão do equipamento. Embora este seja um valor relativamente baixo, pois representa um evento que ocorre a cada 25 anos, e apenas em caso de eventos anteriores que causem uma falha que culmine no aumento inadequado de temperatura ou pressão, é importante lembrar que uma baixa probabilidade não impede que um evento ocorra. Explosões, embora incomuns, são um evento indesejado com consequências catastróficas, seja em vítimas, danos ambientais ou perdas econômicas. Para o caso de interrupções, obtém-se uma taxa de ocorrência de 0,36 por ano, ou seja, uma ocorrência a cada 2,78 anos. Embora a interrupção também tenha uma baixa probabilidade, é importante ressaltar o impacto produtivo e consequentemente financeiro de uma parada de um reator em um processo contínuo como este.

5. CONCLUSÕES

A partir de uma análise prévia de riscos e falhas possíveis de um processo, equipamento ou sistema, é possível prevenir acidentes e falhas que seriam extremamente prejudiciais a indústria e/ou a sociedade como um todo.

Neste trabalho, visou-se analisar através do HAZOP, todos os possíveis desvios das condições normais de operação, identificando suas causas e consequências e propondo medidas para sanar os problemas verificados. A partir deste método, identificou-se os principais eventos que causariam uma consequência extremamente perigosa, como uma possível explosão do reator.

Após identificar os eventos que poderiam causar uma explosão, que foram o superaquecimento e a sobrepressão do reator, realizou-se uma análise quantitativa, através do método de probabilidade, construindo uma Árvore de Eventos.

Por este método, obteve-se uma taxa de 0,04 explosões por ano para o caso de ocorrência de superaquecimento ou sobrepressão do equipamento. Para o caso de interrupções do processo, obteve-se uma taxa de ocorrência de 0,36 por ano, ou seja, uma ocorrência a cada 2,78 anos. Embora a interrupção também tenha uma baixa probabilidade, é importante ressaltar o impacto produtivo e consequentemente financeiro de uma parada de um reator em um processo contínuo como este.

Portanto, é perceptível como o monitoramento contínuo e bem feito de todo o sistema que envolve um reator é essencial e vital para o funcionamento seguro do processo. Além, também é demonstrado como uma análise de riscos sugere ações que podem prevenir a ocorrência de eventos totalmente indesejados.

Por fim, é importante ressaltar que esse estudo dos riscos de um reator de leite fixo numa indústria de produção de acetona possui algumas limitações, pois foi baseado em fundamentações teóricas e não em uma planta real de produção.

REFERÊNCIAS

O'NEIL, M. J.; The Merck Index, 14^a ed., Merck: NewJersey, 2006.

MILLER, R. J. Em Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 2nd ed., vol. 1, Interscience Publishers, New York, 1963.

ALGAYYIM, S. J. M.; WANDEL, A. P.; YUSAF, T.; AL-LWAYZY, S.; HAMAWAND, I. Impact of butanol-acetone mixture as a fuel additive on diesel engine performance and emissions. Fuel, v. 227, p. 118-126, 2018.

SHAMSUDIN, S.; KALIL, M. S. H.; YUSOFF, W.

M. W. Production of Acetone, Butanol and Ethanol (ABE) by Clostridium saccharoperbutylacetonicum N1-4 with Different Immobilization Systems. Pakistan Journal of Biological Sciences, v. 9, p. 1923-1928, 2006.

TURTON, R., BAILIE, R. C., WHITING, W. B., SHAEIWITZ, J. A. Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Process. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2009.

FOGLER, H Scott. Elementos de Engenharia de Reações Químicas. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2009. 854 p

CCPS – Center for Chemical Process Safety. Guideline for Engeneering Design for Process Safety. 2^a ed. Nova Jersey, 2012.

WEIZMANN, C.; HAMLYN, A. U.S. Pat. 1,329,214,1920. Sítio da Edimburgh Napier University. Disponível em: <http://www.napier.ac.uk/randkt/rktcentres/bfrc/Pages/ABEhistory.aspx>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2022.

BROWN, W. H. 2018. Encyclopedia Britannica. Disponível em <https://www.britannica.com/science/acetone>. Acesso em: 11 de fevereiro de 2022.

CHUANG, K. T.; XU, Y.; SANGER, A. R. Design of a process for production of isopropyl alcohol by de hydration of propylene in a catalytic distillation column. Trans IChemE, v. 80, p. 686-694, 2002.

GONÇALVES, C. C. R; MINGUITA, H, F. “Estudo de uma planta industrial de produção de uma planta industrial de produção de acetona via desidrogenação do 2-propanol”. 2017.113f. Tese (Graduação em Engenharia Química) - Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2017.

SUDDLE, S. The weighted risk analysis. Safety Sciences. v. 47, pg. 668-679, 2009.

CCPS – Center for Chemical Process Safety. Guidelines for Hazard evaluation Procedures. 3^a ed. Nova York, 2008.

SILVA, N. M. G. Análise De Risco Associada a Prazos De Execução De Obras. 2010. Dissertação para Especialização em Construções – Faculdade de Engenharia,

Universidade do Porto. Porto, 2010.

SILVA, A. B. Análise de Risco do Processo de produção de resina para tinta automotiva. Trabalho de Conclusão de Curso. UFU, Uberlândia/MG, 2019.

ÁRVORE DE EVENTOS. PUC RIO, 2012. Disponível em:
<https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/20251/20251_4.PDF>. Acesso em: 10 de janeiro de 2022.

AVEN, T. Risk Analysis: Assessing Uncertainties Beyond Expected Values and Probabilities. Wiley, Londres, 2009.

FARIA, M.T. Gerência de Riscos: Apostila do Curso de Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho da UTFPR. Curitiba, 2009.

CAPÍTULO 17

ESTUDO DA ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE CITRONELA, ALECRIM, CANELA, ORÉGANO E EUCALÍPTO

Ana Cecília Cerri

Graduanda do Curso de Farmácia

Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

Endereço: Av. General Carlos Cavalcanti, 4748, Ponta Grossa-Paraná

E-mail: anacecilia.cerri@yahoo.com.br

Luis Antonio Esmerino

Doutorado em Odontologia (Farmacologia)

Instituição: Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

Endereço: Av. General Carlos Cavalcanti, 4748, Ponta Grossa-Paraná

E-mail: esmerino@uepg.br

RESUMO: A resistência microbiana é um problema de saúde pública mundial, devido ao uso excessivo de antimicrobianos e, portanto, se faz necessário o desenvolvimento de novos medicamentos, sendo a fonte natural considerada a melhor opção para se isolar novos componentes antimicrobianos. O presente trabalho investigou a atividade antifúngica de cinco óleos essenciais (citronela, alecrim, canela, orégano e eucalipto) através da concentração inibitória mínima (CIM80) pela técnica de macrodiluição em tubos. Como microrganismo teste utilizou-se a levedura *Candida albicans* ATCC 10231. A CIM80 para o óleo essencial de citronela foi de 250 µg/mL, alecrim 500 µg/mL, canela 62,5 µg/mL, orégano 125 µg/mL e eucalipto 250 µg/mL. Os óleos essenciais mostraram forte atividade antifúngica com CIM80 ≤500 µg/mL se apresentando como promissores para serem utilizados no tratamento alternativo da candidíase. Esses resultados, entretanto, foram observados em estudos *in vitro*, outros estudos *in vivo* são necessários para se observar a toxicidade, reações adversas e possíveis efeitos colaterais.

PALAVRAS-CHAVE: *Candida Albicans*; *Cymbopogon Nardus*; *Rosmarinus Officinalis*; *Cinnamomum Cassia*; *Origanum Vulgare*; *Eucalyptus Globulus*.

ABSTRACT: Microbial resistance is a global public health problem stemming from the excessive use of antimicrobials. This issue has warranted the development of new drugs, with a preference for those derived from nature as potential sources of novel antimicrobial compounds. The aim of this study was to investigate the antifungal properties of five essential oils (citronella, rosemary, cinnamon, oregano, and eucalyptus) through the determination of their 80% minimum inhibitory concentration (MIC 80) using the tube macrodilution technique. The test microorganism used was the yeast *Candida albicans* ATCC 10231. The MIC for citronella essential oil was 250 µg/mL, rosemary 500 µg/mL, cinnamon 62.5 µg/mL, oregano 125 µg/mL, and eucalyptus 250 µg/mL. The essential oils showed strong antifungal activity, with MIC values of ≤500 µg/mL, indicating their potential as alternative treatments for candidiasis. These findings, however, were obtained *in vitro*, requiring further *in vivo* studies to evaluate toxicity, adverse reactions, and possible side effects.

KEYWORDS: *Candida Albicans*; *Cymbopogon Nardus*; *Rosmarinus Officinalis*; *Cinnamomum Cassia*; *Origanum Vulgare*; *Eucalyptus Globulus*.

1. INTRODUÇÃO

A candidíase é uma micose oportunista causada por leveduras do gênero *Candida*. As infecções podem variar de superficiais a profundas; envolvendo vários locais como boca, garganta, língua, pele, couro cabeludo, genitais, dedos, unhas e órgãos internos [1].

A incidência de infecções fúngicas, especialmente aquelas causadas por *Candida* spp., vem aumentando. Todavia, a terapia utilizada para o controle fúngico apresenta limitações, principalmente nos casos de recorrência o que fortalece a necessidade de se buscar novas modalidades terapêuticas que sejam capazes de tratar o processo infeccioso inibindo os mecanismos de resistência do microrganismo [2,3]

A fitoterapia há vários anos vem sendo utilizada com sucesso. Assim, as plantas medicinais surgiram como uma alternativa na busca de novos agentes antifúngicos por apresentarem compostos, como os óleos essenciais (OEs) que apresentam importantes efeitos biológicos [3,4].

Os óleos essenciais são substâncias não gordurosas, voláteis, produzidos pelo metabolismo secundário das plantas sendo classificados em monoterpenos, sesquiterpenos, álcoois, aldeídos, ésteres, fenóis, éteres, óxidos, peróxidos e ácidos. A análise dos componentes dos OEs é geralmente realizada pela cromatografia gasosa e cada óleo pode apresentar até 300 componentes, razão da sua grande abrangência terapêutica, atuando em diversos sistemas no corpo, como também na psique. Diversos constituintes presentes nos óleos essenciais têm sido relatados, como: o limoneno, pineno, mentol, eugenol, timol, carvacrol, eucaliptol, entre outros [5].

Esses princípios ativos vêm sendo utilizados em diversas áreas, como na farmacêutica, na indústria alimentícia, na cosmética, na perfumaria e na produção de inseticidas. Assim, OEs com potenciais aplicações na conservação de alimentos têm

ganhado força e cada vez mais, os consumidores têm dado preferência aos alimentos seguros e que provoquem pouco ou nenhum impacto à saúde e ao meio ambiente. Nesta perspectiva, os óleos essenciais, com propriedades antimicrobianas e antioxidantes vêm sendo utilizados [6].

Óleos essenciais, encontrados na literatura, mostrando propriedades antimicrobianas foram testados no presente trabalho. Segundo Medeiros *et al* (2020) [7] evidências científicas têm revelado que o extrato de *Rosmarinus officinalis* (alecrim) possui grande poder antibacteriano, antifúngico, antiinflamatório e antioxidante, além de atuar efetivamente reduzindo biofilmes polimicrobianos importantes na odontologia. Andrade *et al* (2012) [8] relataram atividade antimicrobiana para citronela (*Cymbopogon nardus*) e canela (*Cinnamomum zeylanicum*). Araújo e Longo (2016) [9] relataram que o óleo essencial de *Origanum vulgare* (orégano) mostrou poder de [9] inibição do crescimento e da viabilidade das cepas de *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli*. Mota *et al.* (2015) [10] relataram atividade antimicrobiana para o óleo essencial de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) frente ao *S. aureus*, *E. coli* e *C. albicans*.

Os óleos essenciais, porém, podem apresentar diferenças na atividade devido às localizações geográficas, época de coleta, genótipo e condições climáticas, fazendo-se necessária a caracterização dos compostos bioativos e responsáveis pela atividade. Diferentes composições dos OE os tornam mais efetivos contra determinados microrganismos [11].

A quimioterapia antimicrobiana revolucionou a medicina moderna e reduziu significativamente a morte por doenças infecciosas. No entanto, antimicrobianos anteriormente bem-sucedidos têm selecionado microrganismos resistentes e vem diminuindo progressivamente sua eficácia. Atualmente, a resistência microbiana é um problema de saúde pública mundial, fazendo-se necessária a descoberta de novos antimicrobianos, sendo que os óleos essenciais contêm diversos metabólitos secundários que podem inibir ou retardar o crescimento de bactérias, leveduras e bolores tornando-se interessante o estudo destes para o desenvolvimento de novos compostos bioativos [12].

Diante do exposto acima, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a atividade antifúngica dos OEs de citronela, alecrim, canela, orégano e eucalipto, já caracterizados como tendo alguma atividade antimicrobiana, frente a *Candida albicans* ATCC 10231.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliação da atividade antifúngica dos óleos citronela (*Cymbopogon nardus*), alecrim (*Rosmarinus officinalis*), canela (*Cinnamomum cassia*), orégano (*Origanum vulgare*) e eucalipto (*Eucalyptus globulus*) foi utilizado o teste da concentração inibitória mínima (CIM) pela macrodiluição em tubos. Foi utilizado como microrganismo teste a levedura *Candida albicans* ATCC 10231 (CA10231). Para uma melhor dissolução dos OEs em estudo foi preparada uma solução mãe contendo 80µL do óleo essencial, 120µL de caldo Muller-Hinton com Tween 80 a 2% e 1800 µL de caldo Muller-Hinton com 2% de glicose (MHG). Foram preparadas concentrações de 20000µg/mL, 10000µg/mL, 5000µg/mL, 2500µg/mL, 1250µg/mL, 625µg/mL e 312µg/mL. Cada concentração, no momento do teste foi diluída 1:10 sendo retirados 100µL e adicionados à 900µL caldo MHG juntamente com 50 µL/mL da suspensão do microrganismo teste equivalente ao padrão 0,5 da escala de MacFarland ($1,0 - 2,0 \times 10^6$ UFC/mL) diluída 1:10. As concentrações finais testadas foram: 2000µg/mL, 1000µg/mL, 500µg/mL, 250µg/mL, 125µg/mL, 62,5µg/mL e 31,2µg/mL. Os testes foram realizados em triplicata e foram feitos controles de crescimento do microrganismo teste e o branco. Após período de incubação de 24 horas a 35°C foram transferidos 200µl para uma placa de microtitulação de 96 cavidades e em seguida foram realizadas três leituras da densidade óptica (DO) em 630nm no leitor de microplacas de multidetecção híbrida Synergy™H1 com software Gen5.2 no laboratório multiusuário - LABMU/SEBISA da UEPG. A análise estatística (ANOVA e pós teste de Tukey, ($p < 0,05$)) foi realizada em GraphPad Prism6 para comparar a média das densidades ópticas (DO) dos testes nas diferentes concentrações frente ao crescimento do microrganismo controle. O percentual de inibição foi proporcionalmente calculado com base no crescimento do microrganismo teste (CA10231) sem a presença do OE que foi equivalente a 100%. O branco foi descontado da leitura da DO. A atividade inibitória foi a diferença entre a taxa do crescimento dos testes em relação aos controles. A concentração inibitória mínima (MIC80) foi definida como a menor concentração do OE que levou a uma redução de 80% na absorbância em relação aos controles ^[13].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A atividade antifúngica dos OEs (citronela, alecrim, canela, orégano e eucalipto) frente CA10231 foi determinada pela leitura visual e pela leitura da densidade óptica (DO), uma vez que o crescimento do microrganismo em caldo provoca a turvação do meio.

A Tabela 1 mostra a leitura da densidade óptica obtida do crescimento do microrganismo teste frente aos OEs em diferentes concentrações. Na análise estatística, DOs foram estatisticamente significantes (* $p < 0,05$), ou seja, diferentes concentrações dos OEs inibiram o crescimento do microrganismo teste. A Figura 1 mostra os gráficos mostrando inibição como resultado da análise estatística entre as DOs obtidas com as diferentes concentrações dos OEs e a DO obtida com CA10231 sem os OEs.

Tabela 1 – Leitura da densidade óptica dos óleos essenciais nas diferentes concentrações em comparação com CA10231 e análise estatística (* $p < 0,05$).

CONCENTRAÇÃO µg/mL	DENSIDADE ÓPTICA				
	Citronela	Alecrim	Canela	Orégano	Eucalipto
CA10231	0,474	0,427	0,474	0,474	0,474
2000	0,038*	0,044*	0,031*	0,012*	0,002*
1000	0,001*	0,014*	0,003*	0,005*	0,013*
500	0,001*	0,028*	0,001*	0,001*	0,059*
250	0,067*	0,131*	0,001*	0,004*	0,057*
125	0,425*	0,180*	0,003*	0,005*	0,294*
62,5	0,451*	0,375*	0,002*	0,161*	0,332*
31,2	0,425*	0,411*	0,497	0,508	0,430*

Fonte: Os autores

A atividade antifúngica foi calculada em percentual de inibição do crescimento (%) nas diferentes concentrações estudadas. A DO obtida com o microrganismo teste foi considerada como de crescimento 100% e inibição 0%. Com base na leitura das DOs o crescimento do microrganismo teste foi proporcionalmente calculado, sendo a diferença o percentual de inibição. Foi considerado CIM quando a inibição do crescimento foi $\geq 80\%$, em comparação ao crescimento CA10231 (Tabela 2).

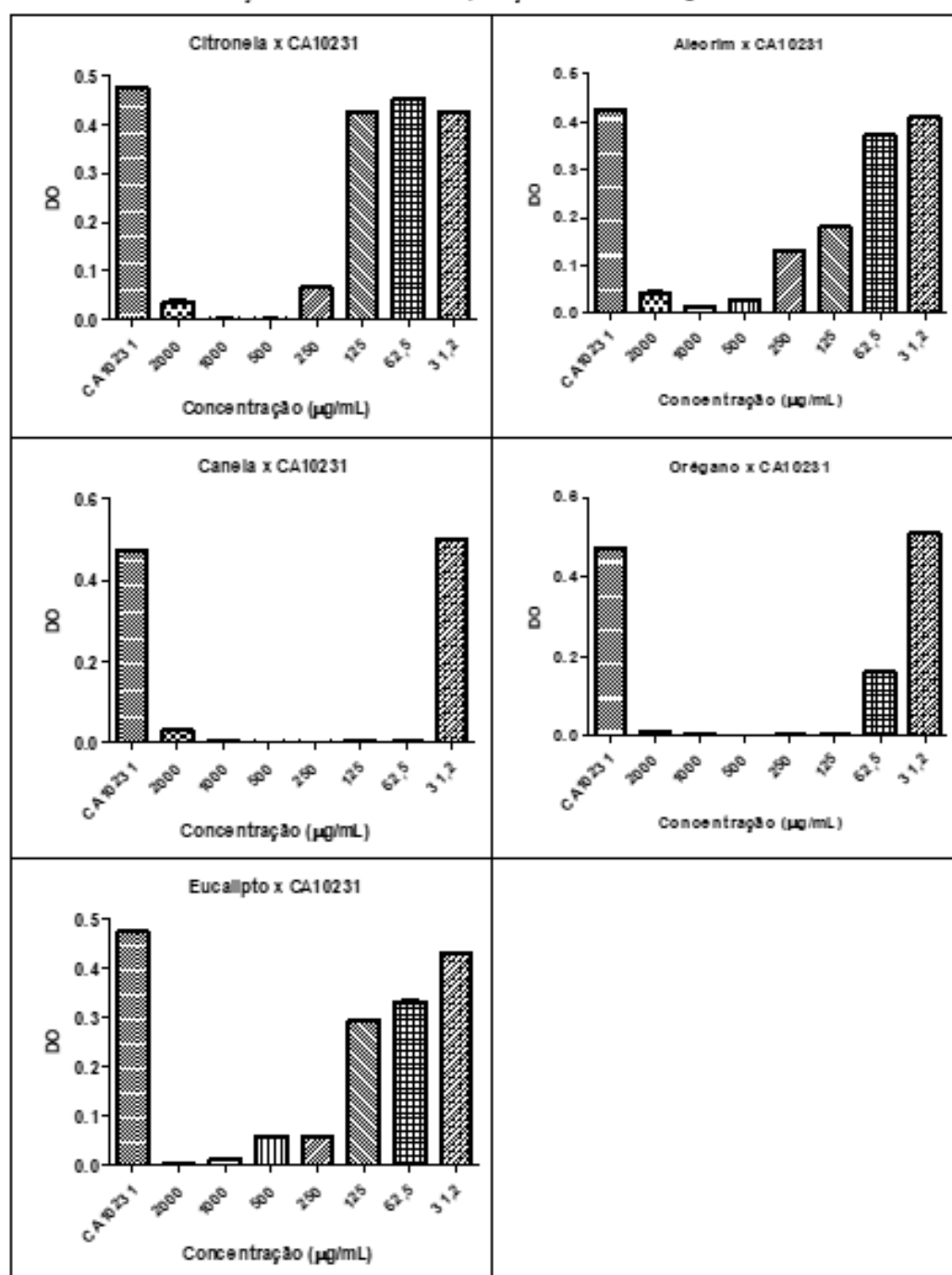
Tabela 2 - Atividade antimicrobiana dos OEs em % de inibição do crescimento e CIM.

CONCENTRAÇÃO µg/mL	ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DE ÓLEOS ESSENCIAIS (%)				
	Citronela	Alecrim	Canela	Orégano	Eucalipto
2000	92	90	93	98	100
1000	100	97	99	99	97
500	100	93 ^{CIM}	100	100	88
250	86 ^{CIM}	69	100	99	88 ^{CIM}
125	10	58	99	99 ^{CIM}	38
62,5	5	12	100 ^{CIM}	66	30
31,2	10	4	0	0	9

Fonte: Os autores

Visualmente a CIM é determinada pela menor concentração capaz de inibir o crescimento do microrganismo teste, ou seja, sem turvação. A Figura 2 apresenta os resultados obtidos da atividade antifúngica dos OEs em estudo mostrando a leitura visual em comparação com o cálculo da CIM.

Figura 1 – Resultado da análise estatística comparando o crescimento de CA10231 nas diferentes concentrações dos OEs em comparação com o microrganismo teste sem o OE.



Fonte: Os autores

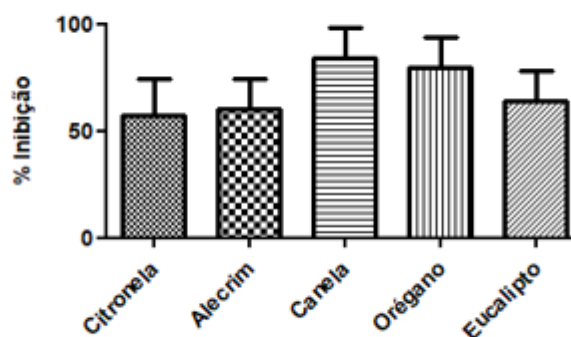
Figura 2 – Leitura visual da atividade antifúngica, CIM e percentual de inibição dos OEs.

Tubos	Tubos 1 a 7 (2000 – 31,25 µg/mL), 8 Controle, 9 Branco									Inibição (%) CIM
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Citronela										Tubo 4 250 µg/mL 86%
Alecrim										Tubo 3 500 µg/mL 93%
Canela										Tubo 6 62,5 µg/mL 100%
Orégano										Tubo 5 125 µg/mL 99%
Eucalipto										Tubo 4 250 µg/mL 86%

Fonte: Os autores

Aligiannis et al (2001) ^[14] no estudo da atividade antimicrobiana consideram que $CIM \leq 500 \mu\text{g/mL}$, observada para produtos de origem vegetal, indicam forte atividade antimicrobiana. Assim todos os OEs estudados aqui apresentaram forte atividade antifúngica. Análise estatística comparando a atividade antifúngica dos OEs em estudo não mostrou diferença significativa ($p > 0,05$) entre eles (Figura 3).

Figura 3. Comparação entre os percentuais de inibição dos OEs diante de *C. albicans*



Fonte: Os autores

A atividade antifúngica do OE de citronela foi observada com CIM de 250 µg/mL. Esse resultado foi semelhante ao relatado por Trindade *et al.* (2022) ^[15] **que** investigaram a atividade antifúngica e antibiofilme do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* e seu composto majoritário, citronelal, em isolados clínicos de *Candida albicans*. Ambas as amostras apresentaram atividade antifúngica, com CIM de 256 µg/mL determinados pelo método de microdiluição, e assim mostraram forte atividade antifúngica e antibiofilme in vitro. De Toledo *et al.* (2016) ^[3] mostraram o potencial antifúngico do óleo essencial de *Cymbopogon nardus* diante de cepas ATTC e isolados clínicos de *Candida* spp, com CIM variando de 250 a 1000 µg/mL, e a análise química mostrou que os principais compostos do OE foram os monoterpenos (citronelal, geranial, geraniol, citronelol).

CAVALCANTI *et al.* (2011) ^[16] estudaram a atividade antifúngica do OE de *R. officinalis*, através das técnicas de microdiluição, sobre cepas de *C. albicans*. Os autores relataram CIM de 0,5626 mg/ mL. Resultado semelhante foi observado no nosso estudo onde a CIM para o OE de alecrim foi de 500 µg/mL.

Para o OE de orégano a CIM foi de 125 µg/mL, apresentando forte atividade antifúngica. Cid-Chevecich *et al* (2022) ^[17] relataram que o óleo OE de *Origanum vulgare* inibiu os padrões de virulência de *Candida* spp. e potencializou os efeitos dos antifúngicos de fluconazol e nistatina in vitro. Segundo De Assis *et al.* (2023) ^[18] o óleo essencial de *Origanum vulgare* (orégano) apresenta vários compostos que impedem o crescimento da levedura *Candida albicans* e o *Cymbopogon nardus* (citronela), que contém monoterpenos na sua composição, apresenta melhora significativa no controle das infecções fúngicas.

No nosso estudo a CIM para o óleo de eucalipto foi de 250 µg/mL mostrando assim forte atividade antifúngica. Essa atividade também foi relatada por Bazan Santacruz *et al.* (2022) ^[19] que demonstraram que o óleo essencial das folhas de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) possui atividade antifúngica contra *Candida albicans* ATCC 10231. Considerando a necessidade de obtenção de novos agentes terapêuticos voltados para o combate da candidose bucal; Castro e Lima (2010) ^[20] investigaram a atividade antifúngica in vitro do OE de *Eucalyptus globulus* L. frente a espécies de *Candida* envolvidas com infecções bucais. Os autores relataram CIM de 312,5 µg/mL para 76,2% das cepas de *Candida* ensaiadas.

A CIM para o óleo de canela foi de 62,5 µg/mL. Ferrão *et al* (2020) ^[21], relataram CIM variando de 500 a 15,62 µg/ml, ao avaliarem a atividade antifúngica do OE de

Cinnamomum cassia L. sobre isolados clínicos de *Candida* spp. O manejo da candidíase oral, mais frequentemente causada por *Candida albicans*, é limitado devido ao número relativamente baixo de drogas antifúngicas e ao surgimento de tolerância aos antifúngicos. Serra *et al.* (2018) ^[13] estudaram a atividade antifúngica de uma variedade de óleos essenciais comerciais, incluindo canela e citronela. Os óleos essenciais comerciais testados se apresentaram como agentes terapêuticos potenciais contra *C. albicans*, embora a citotoxicidade da célula hospedeira seja uma consideração ao se desenvolver esses novos tratamentos.

4. CONCLUSÃO

A partir deste estudo, concluímos que os óleos essenciais de citronela, alecrim, canela, orégano e eucalipto apresentaram forte atividade antifúngica. Assim, esses óleos essenciais se apresentam como promissores para serem utilizados no tratamento alternativo da candidíase. Esses resultados, entretanto, foram observados em estudos *in vitro*, outros estudos *in vivo* são necessários para se observar a toxicidade, reações adversas e possíveis efeitos colaterais.

REFERÊNCIAS

- BARBEDO, L., S.; SGARBI, D.B.G. (2010). Candidíase. *Brazilian Journal of Sexually Transmitted Diseases* v. 22(1), p. 22-38.
- LEAL, M. R. D., LIMA, M. C. N. P. C., KLEIN, S. D. O. T.; GARBOGGI, P. V. S. L. (2016). Tratamento da candidíase vulvovaginal e novas perspectivas terapêuticas: uma revisão narrativa. *Revista Pesquisa em Fisioterapia* v.6(4).
- DE TOLEDO, L.G.; RAMOS, M.A.S.; SPÓSITO, L.; CASTILHO, E.M.; PAVAN, F.R.; LOPES, E.O.; ZOCOLO, G.J.; SILVA, F.A.N.; SOARES, T.H.; DOS 4. SANTOS, A.G. *et al.* (2016). Essential Oil of *Cymbopogon nardus* (L.) Rendle: A Strategy to Combat Fungal Infections Caused by *Candida* Species. *International Journal of Molecular Sciences* v.17(8), p.1252.
- RAIMUNDO, J. D. S.; DE TOLEDO, C. E. M. (2017). Plantas com atividade antifúngica no tratamento da candidíase: uma revisão bibliográfica. *Uningá Review* v. 29(2).
- NASCIMENTO, A; PRADE, A.C.K. (2020). Aromaterapia: o poder das plantas e dos óleos essenciais. Recife: Fiocruz-PE. *ObservaPICS*, 33 p.
- ALMEIDA, J.C.; ALMEIDA, P.P.; GHERARDI, S.R.M. (2020). Potencial antimicrobiano de óleos essenciais: uma revisão de literatura de 2005 a 2018. *Nutritime Revista Eletrônica, on-line* v.17(1), p.8623-8633.
- MEDEIROS, M.A.; CRUZ, J.H.A.; OLIVEIRA, H.M.B.F.; GUÊNES, G.M.T.; ALVES, M.A.S.G.; OLIVEIRA FILHO, A.A. (2020) *Rosmarinus officinalis* L.: propriedades farmacológicas relacionadas à Odontologia. *Archives of Health Investigation* v.10(1), p. 24–30.
- ANDRADE, M.A.; CARDOSO, M.G.; BATISTA, R.; MALLET, A.C.T.; MACHADO, M.F. (2012). Óleos essenciais de *Cymbopogon nardus*, *Cinnamomum zeylanicum* e *Zingiber officinale*: composição, atividades antioxidante e antibacteriana. *Revista Ciência Agronômica*. v.43(2).
- ARAUJO, M.M.; LONGO, P.L. (2016) Teste da ação antibacteriana in vitro de óleo essencial comercial de *Origanum vulgare* (orégano) diante das cepas de *Escherichia coli* e *Staphylococcus aureus*. *Arquivos do Instituto Biológico [online]*. v. 83.
- MOTA, V.S.; TURRINI, R.N.; PROVEDA, V.B. (2015). Atividade antimicrobiana do óleo de *Eucalyptus globulus*, xilitol e papaína: estudo piloto. *Revista da Escola de Enfermagem da USP* v.49(2), p.216-220.
- SILVEIRA, SM. CUNHA Jr, A. SCHEUERMANN, GN. SECCHI, FL. VERRUCK, S. KROHN, M. *et al.* (2012). Composição química e atividade antibacteriana dos óleos essenciais de *Cymbopogon winterianus* (citronela), *Eucalyptus paniculata* (eucalipto) e *Lavandula angustifolia* (lavanda). *Revista Instituto Adolfo Lutz* v.71(3), p.471-80.
- SANTOS C.H.S, PICCOLI R.H, TEBALDI V.M.R. (2017). Atividade antimicrobiana de

óleos essenciais e compostos isolados frente aos agentes patogênicos de origem clínica e alimentar. *Revista Instituto Adolfo Lutz*. v.76, p.1719e.

SERRA, E., HIDALGO-BATISDA, L. A., VERRAN, J., WILLIAMS, D.; MALIC, S. (2018). Antifungal activity of commercial essential oils and biocides against *Candida albicans*. *Pathogens* v.7(1), p.15.

ALIGIANNIS, N.; KALPOUTZAKIS, E.; MITAKU, S.; CHINO, I.B. (2001). Composition and antimicrobial activity of the essential oil of two *Origanum* species. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* v.49, p.4168.

TRINDADE, L. A., CORDEIRO, L. V., DE FIGUERÊD SILVA, D., FIGUEIREDO, P. T. R., DE PONTES, M. L. C., DE OLIVEIRA LIMA, E.; DE ALBUQUERQUE TAVARES CARVALHO, A. (2022). The antifungal and antibiofilm activity of *Cymbopogon nardus* essential oil and citronellal on clinical strains of *Candida albicans*. *Brazilian Journal of Microbiology* v.53(3), 1231-1240.

CAVALCANTI, Y.W.; DE ALMEIDA, L.D.F.D.; PADILHA, W.W.N. (2011). Atividade antifúngica de três óleos essenciais sobre cepas de *Candida*. *Revista Odontológica do Brasil Central* v.20(52).

CID-CHEVECICH, C.; MÜLLER-SEPÚLVEDA, A.; JARA, J.A. et al (2022). O óleo essencial de *Origanum vulgare* L. inibe os padrões de virulência de *Candida* spp. e potencializa os efeitos do fluconazol e da nistatina in vitro. *BMC Complementary Medicine and Therapies* v.22(39).

DE ASSIS, A.R.M.; SANTOS. T.C.; BATISTA, C.M.; GUEDES, V.R.; SIQUEIRA, I.B. (2023). O uso de óleos essenciais utilizado como terapia complementar no tratamento da candidíase: Uma revisão da literatura. *Caderno de Graduação-Ciências Biológicas e da Saúde-UNIT-SERGIPE* v.8(1), 77-89.

BAZAN SANTACRUZ, E.; PÉREZ LUJÁN, C. C. (2022). Actividad antifúngica del aceite esencial de las hojas de *Eucalyptus globulus* (eucalipto) frente a *Candida albicans* ATCC 10231, in vitro.

CASTRO, R. D. D.; LIMA, E. D. O. (2010). Atividade antifúngica in vitro do óleo essencial de *Eucalyptus globulus* L. sobre *Candida* spp. *Revista Odontologia da UNESP (Online)*, 179-184.

FERRÃO, S. K., BUTZGE, J. C., MEZZOMO, L., CALIL, L. N., APEL, M. A., MEZZARI, A.; LIMBERGER, R. P. (2020). Atividade antifúngica de óleos essenciais frente a *Candida* spp. *Brazilian journal of health review* v. 3(1), p. 100-113.

CAPÍTULO 18

WOODCHIPS MOISTURE ESTIMATION IN INDUSTRIAL LINES BY CAPACITIVE METHOD

Elisa Pizzaia Goltz Kumov

Formação acadêmica mais alta: Mestre em Engenharia Florestal

Instituição de atuação atual: Marrari Automação Ltda

Endereço institucional: Rua Piauí, 1072, CEP 80220240, Curitiba, Paraná, Brasil

Email: Elisa.pizzaia@gmail.com

Victor Gonçalves Cremonez (autor correspondente)

Formação acadêmica mais alta: Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná

Instituição de atuação atual: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba, UNIFATEC-PR.

Endereço completo institucional: Rua Itacolomi, 450, Portão, Curitiba, Paraná, Brasil

Email: victor.cremonez@gmail.com

ABSTRACT: The determination of woodchips moisture in a functional way is essential, not only for celluloses, paper and wood panels industrial production, but also for energy generation. Thus, this work had the objective to investigate the application of a moisture meter in industrial conveyor belts to control the woodchips quality in strategical industrial positions: in the conveyer that feeds the woodchips digester in the cellulose production, in the one that feeds the sieve in wood panels production and in the one that feeds boilers for energy generation. Experimental equations were created for a woodchips moisture meter with capacitive sensor for the moisture measurement of four types of chips: Pinus spp. and Eucalyptus spp. woodchips, intended for cellulose and wood panels production process (without bark) and intended for burning in industrial boilers (with bark). Next, field moisture results measurements performed with the experimental equations were compared to the results of the gravimetric method. The functions for moisture measurement presented a high correlation index between the sensor reading and the moisture obtained by the gravimetric method, indicated by the coefficient of determination values (R-squared) close to 0,90 for all types of woodchips tested. Although the moisture results obtained in field were similar to the results from the standard moisture determination, bigger differences were found for the values obtained for eucalyptus chips with bark. It was concluded that the options in this pilot phase investigated are potential methods for its application in industrial lines.

KEYWORDS: Moisture; Wood Industry; Measurement Instrument.

1. INTRODUCTION

The woodchips moisture determination is important in several segments of forest-based industry, including pulp and paper production, wood panels factories and biomass power generation. In the pulp industry, moisture control is important due transporting costs and because the woodchips trading is influenced by the amount of water contained in them. In addition, Biermann related that the use of reagents to obtain the cellulosic pulp is calculated on the mass of the chips, which is also dependent on the moisture. For Maloney (1989), in the panel production process, the high moisture of woodchips increases the drying cost and produces crisp fibers, that makes bonding very difficult and requires more resin consum. According to Labisky *et. al.* (1993), the chips moisture during defibration is considered the second factor that most affects the wood panels properties. This previous work concluded fibers made from chips with low moisture contents settle in bundles, making it difficult to form the panel mattress. Observations such as these have made it possible to Weber (2011) state that, in the panel sector, the raw material should be, where possible, segregated by type, moisture content and species. McKendry (2001) related woodchips are also considered biomass for energy generation. A report made by Oliveira *et.al.* (2005) about the main properties of interest to qualify biomass shows the moisture as the first and most important property, since it is directly correlated to the fuel calorific power, as concluded Furtado *et.al.* (2012). Ideally, for Lima (2010), all factors influencing the amount of energy contained by volume of wood (density, moisture and calorific power) should be considered for the purpose of remuneration. It is therefore seen that instantaneous moisture measurement is extremely important in many industrial processes.

Currently, the most reliable method for the determination of the chip moisture content is established by the standard D4442 (ASTM, 2016), also called gravimetric method or drying kiln method, which is accurate, but time consuming. Due to the disadvantages of the gravimetric method, it is necessary to develop and apply more agile, low cost and reliable methods through instrumentation.

For Calonego *et.al.* (2006), in solid wood moisture measurement, the electric meters provide an immediate response and use non-destructive and low-costly method, which facilitates the data collection, mainly in the industry. Simpson *et.al.* (1991) classified these meters into two groups: resistive (conductance) and capacitive

(dielectric). However, there are not extensive records and critical investigation about the application of the same methods for the measurement of wood moisture also in the form of chips.

Nyström *et.al.* (2004) explain that the dielectric method, that uses the capacitive principle, is based in changes that happen in an electrical field. These changes are observable as the matrix material behavior changes according to its dielectric properties under alternating current radiation. For Paz (2010), the result of the dielectric properties of moist wood is not simply the combination of wood and water dielectric properties. Water has different thermodynamic properties in solid materials. For this reason, many authors like Nyström *et.al.* (2004) state that moisture meters using dielectric method provide moisture estimation with good accuracy just below 30%, which is approximately the fibers saturation point. However, there are studies, like James *et.al.* (2006), comparing capacitive meters from different manufacturers that obtained determination coefficients close to 90%, correlating the instruments results and gravimetric results for moisture values achieving 50% (wet bases).

The water presence is not the only factor that causes disturbance in the electric field. The care related to the classification of materials. According to Berbert *et.al.* (2007), the moisture meter with capacitive sensors calibration uses a different equation for each type of material, because variations in bulk density result in significant measurement errors. Therefore, it is necessary to classify materials according to their other properties as density and granulometry. In addition to measuring care related to the samples classification, it is important to emphasize the need for perfect conditions and periodic maintenance of the sensor used. A recent study published by Hernández *et.al.* (2018), for example, reports that the content of carboxylic acids present in the analyzed samples may contribute to the aging of the electronic components of the sensor.

The present work had as objective to propose and validate a method for woodchips moisture measurement, in an instantaneously and online way and with possibility of application in industrial belts before digesters in cellulose industries, in quality control of panel production process and in the supply of biomass for power boilers. The research aims at early responses to the controls of pulp mills or wood panels through operational stability and higher quality in their products. The dielectric method with capacitive principle was chosen for the moisture determination. An equipment destined for continuous and online measurement was used, but adapted

for a handle way, without the requirement of mechanical and electrical installation in an industrial unit and enabling the research development at laboratory.

2 MATERIAL AND METHODS

Woodchips were collected from four different industry plants, those are listed in Table 1, identified from A to D.

Table 1. Materials used for the data collection

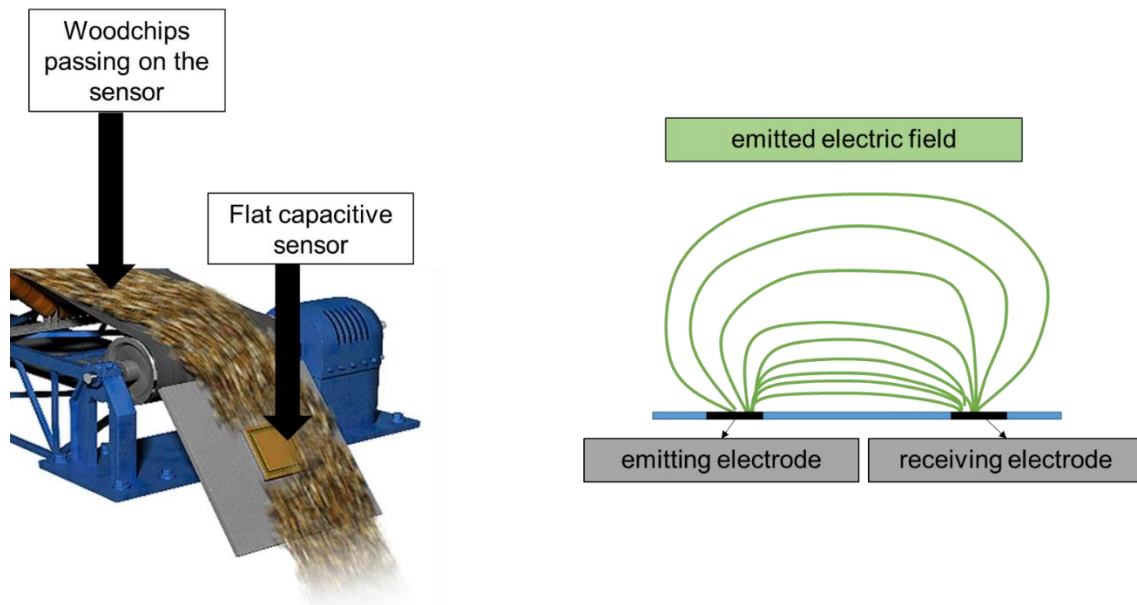
Woodchips		Collection site
A	<i>Pinus</i> spp. without bark	MDF ¹ and MDP ² production line
B	<i>Pinus</i> spp. with bark	power boiler conveyor
C	<i>Eucalyptus</i> spp. without bark	MDF ¹ and MDP ² production line
D	<i>Eucalyptus</i> spp. with bark	power boiler conveyor

Legend: ¹Medium density fiberboard; ²Medium density particleboard

Source: The authors (2023).

The meter used was the model MR700 Umichip (Marrari Automação Industrial LTDA, Brazil). The manufacturer reports that the measuring range is from 0 to 70% moisture (wet basis) and that accuracy is tree percentage units under ideal installation conditions: ambient temperature from 5 to 80°C at industrial grounded site. This equipment has capacitive sensor with flat geometry, normally installed in inclined surface that receives continuous woodchips flow. The capacitor with parallel electrodes is incorporated into an oscillating circuit operating at adjustable frequencies (by manufacturer). The frequency used in the present work was 11,56 MHz. Among the possible power sources – batteries, inverters and switched sources – a rechargeable battery was used, to provide practicality and viability of the experiment development in a laboratory. In order to retain an equal amount of chips on the sensor when making measurements, a metal piece with four walls was built to fit on the sensor. Figure 1 shows the sensor application and its operation principle in an industrial line and Figure 2 shows its adaptation for use in laboratory using the container piece. By exposing the chip sample to the sensor, the analog signal collected at the sensor is sent through a transducer to a programmable logic controller (PLC), also shown in Figure 2, where the measurement equations are programmed for conversion of the received digital signal into the information of moisture shown on the display.

Figure 1. Application and Operating Principle for Capacitive Sensor Moisture Meter.



Source: The authors (2023).

Figure 2. Adaptation of industrial application equipment for use in the laboratory.



Source: The authors (2023).

The present research was divided into two phases. The first phase concerned the equipment calibration, counting on sampling in the laboratory. The second phase was the validation of the measurements made with the calibration equations created in laboratory, where sampling happened in field, simulating a real measurement routine.

In the first phase, a measuring equation was developed for each type of chip to be programmed in the PLC to determine the moisture. The functions were

elaborated through regression analysis, where the independent variable “bits” is the digital signal of the capacitive sensor reading and the dependent variable is the moisture result, determined in the laboratory. The primary method considered as reference for the measurement equations was the gravimetric method described by D4442 standard.

After the measurement equation implementation in the equipment, during the second phase, new samples were collected in field to perform new moisture readings with the sensor, which were paired to results of gravimetric method applied in the same samples exposed to the sensor. Thus, the readings of the secondary method (dielectric) were validated by comparison with the primary one (gravimetric), using one-way variance analysis. The regression analyzes for the equations and the variance analysis were done through the 17th version of Minitab® software.

2.1 Measurement equations development

For the measurement equations development for the equipment, pairs of bits reading and moisture result were collected for samples with different moisture contents. Each time a sample was exposed to the sensor, the reading in bits was registered and a sub-sample was taken for moisture determination by the gravimetric method. All data were collected in triplicate. In order to obtain a great measurement amplitude, the woodchips were collected in natura and exposed to natural drying. As they dried, 21 data pairs (bits and moisture) were performed as this stage. Figure 3 shows the configuration of the wooden tray to expose the material to drying.

Figure 3. Experiment installation for woodchips drying: (C) Eucalyptus chips without bark; (A) Pinus chips without bark; (B) Pinus chips with bark and (D) Eucalyptus chips with bark.



Source: The authors (2023).

2.2 Measurement equations validation

For the validation of the created equations, the samples were collected at five different positions in the chips storage patio in each of the industries, as the Figure 4 shows, and were taken back to the laboratory for analysis. Therefore, five different moisture readings using the capacitive sensor were compared with five moisture results of the laboratory determination.

Figure 4. Diferent sampling points in the woodchips storage Where the moisture readings were registered with the calibrated dielectric meter.



Source: The authors (2023).

The results validation was investigated with a 95% confidence interval and started with the application of a test of equal variances with Bonferroni correction for both treatments (gravimetric and dielectric). Once the equality of variances was observed, the one-factor variance analysis with Tukey test was also applied to compare the two methods. In order to also consider the error between repetitions, the chi-square fit quality test was also applied.

3. RESULTS

Measurement equations development

The measurement equations development used the mathematical models that best represented the correlation between the bits reading and moisture: linear equations for pine chips and second degree polynomials for eucalyptus chips, shown in Table 2.

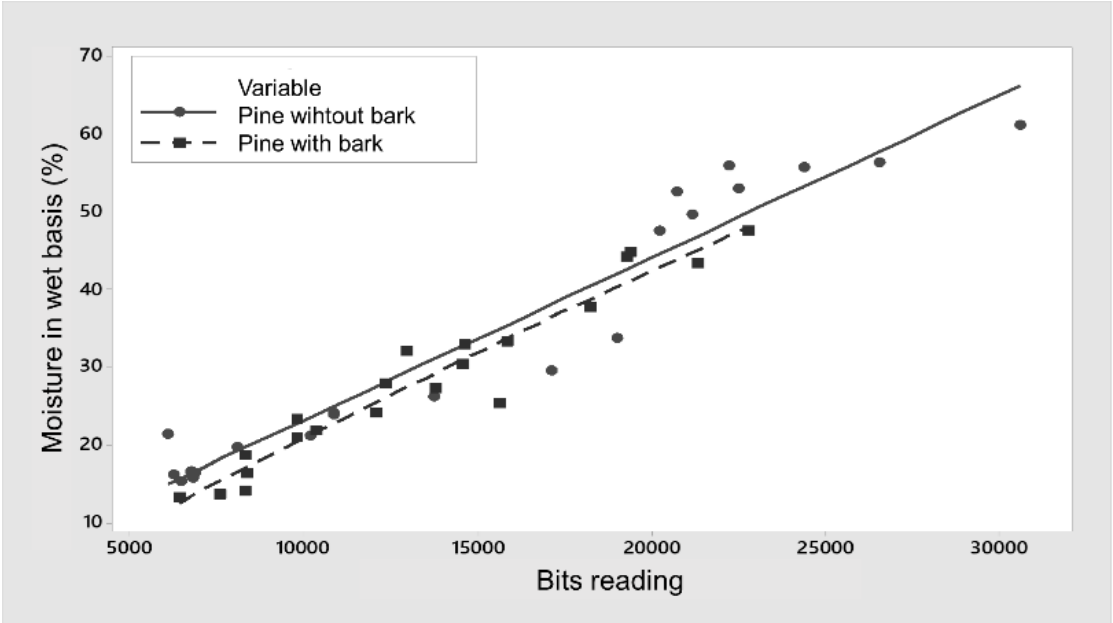
Table 2. Measurement equations elaborated for woodchips a, b, c and d

Woodchips type	Measurement equation
A	$Umidade = -0,99 + 0,002171 \cdot bits$
B	$Umidade = 2,229 + 0,002090 \cdot bits$
C	$Umidade = 3,159 + 0,001889 \cdot bits - 10^{-6} \cdot bits^2$
D	$Umidade = 5,697 + 0,001382 \cdot bits - 10^{-6} \cdot bits^2$

Source: The authors (2023).

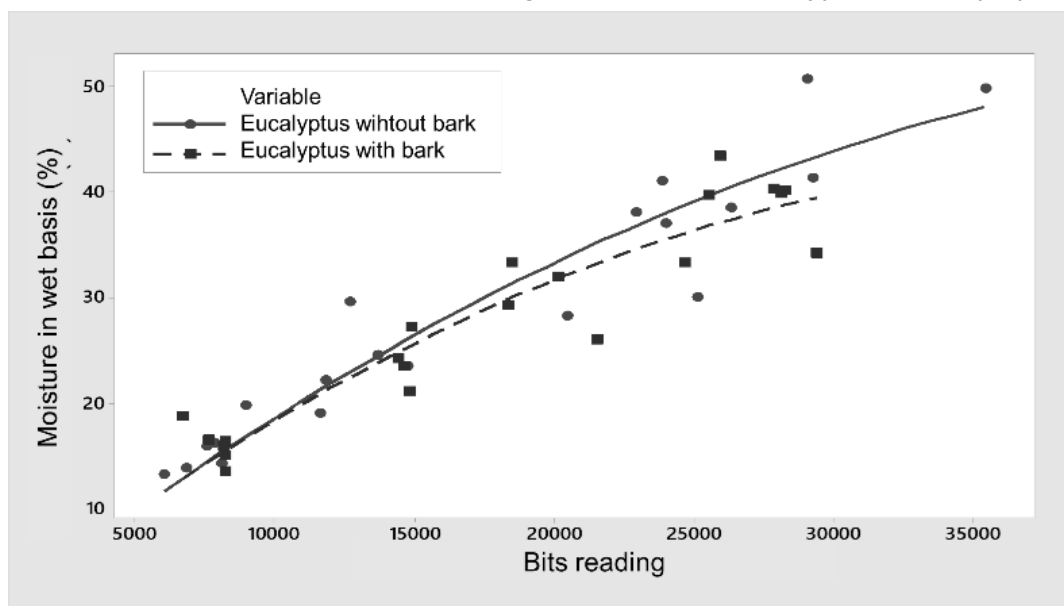
Figures 5 and 6 present the measurement equations for each one of analyzed materials: pine woodchips with and without bark (A and B) and eucalyptus woodchips with and without bark (C and D).

Figure 5. Correlation between the sensor reading and moisture for pine woodchips (A and B).



Source: The authors (2023).

Figure 6. Correlation between the sensor reading and moisture for eucalyptus woodchips (C and D).



Source: The authors (2023).

The adjustment quality of the equations presented in Figures 5 and 6 can be evaluated from typical statistical values such as the determination coefficient R^2 , which were 93,41%; 93,59%; 91,39% and 88,79% for chips A, B, C and D, respectively.

Despite the statement from Nyström *et.al.* (2004) about the impossibility of measuring wood with moisture above 30%; the results here found show that, except for D chips (eucalyptus with bark), the others presented a R^2 greater than 90% for a moisture range covering moisture values up to 65%. Or, the elaborated equations explain more than 90% of the moisture information for the analyzed chips. For both conifers and hardwoods the R^2 values previously found by Jensen *et.al.* (2006) were also greater than 90%: 96% using Pandis meter (Exotek, Germany) and 92% using Schaller meter (Schaller, Austria). However, in a narrower measuring range, up to 50% moisture on wet bases.

The lowest R^2 value was found for chips D, which are from eucalyptus with bark. This low correlation can probably be explained by three factors: the lower uniformity of the material in terms of bulk density; the lower uniformity of wood in relation to the basic density and the differences between the properties of eucalyptus wood and the properties of the bark.

Concerning the bulk density, the woodchips D would be destined to energy generation. According to Ribeiro *et.al.* (1993), the material that is used like fuel

generally come from the same genus, but from different species, with different values of density, promoted by variation of species, provenances, environment and age. It is common that the production of chips for energy production does not requires as much care to control these parameters of standardization and quality control as the production of chips for the production processes in cellulose and wood panels industries. About the second factor mentioned, it is known that the basic density property of woods from genus *Eucalyptus* spp. show a lot of variation among species, higher than the variation among *Pinus* spp. Species, as related by Vale *et.al.* (2002). The density gradient in the eucalyptus samples, therefor, was probably higher than in the pine samples. Finally, the bark material, besides presenting different hygroscopic behavior comparing to wood as written by Vale *et.al.* (2002), also presents different electric and dielectric properties, a factor that contributes to the establishment of a constant, controllable and observable electric field within the analyzed sample, according to Shang *et. al.* (1991).

3.1 Measurement equations validation

Table 3 shows the P values of variance test with Bonferroni correction and significance level of 0,05. It shows that for all four chips types, the variance of the gravimetric and dielectric methods were statistically the same.

In the present variances equality study, the null hypothesis H0 is the equality of variances. All P values are greater than the 0,05 significance level established in this research phase. The values found indicate that it's possible to reject Ho and state that he variances are different with very small confidence intervals of 17,8%; 69,3%; 49,9% and 36,9% for A, B, E and D woodchips. The variance analysis result is therefore the Ho acceptance. It's possible to conclude that the variances are same for all chips types.

Table 3. Results of the p value of equality variance test for the application of gravimetric and dielectric methods in each type of woodchips

Woodchips type	P-Value
A	0,822
B	0,307
C	0,501
D	0,631

Source: The authors (2023).

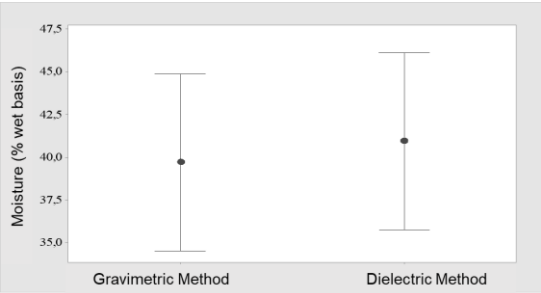
Assuming, therefore, equality of variances, the variance analysis with one-factor and Tukey test was applied to compare the results of the both methods. Table 4 presents the results of each replicate as the average of the application of gravimetric and dielectric methods for five samples of each material type. The Figure 7 (Chips A, B, C and) are measurement range charts. It is possible to identify, visually, the similarity only between results of the two methods for chips A, B and C.

Table 4. Moisture measurement average results ($\bar{x}$) of three replicates (rep) with gravimetric method (grav) and dielectric method for five woodchips samples of woodchips A, B, C and D

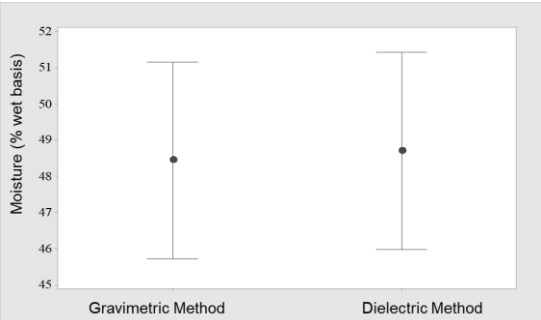
Samples	A				B			
	Grav ⁴		Dielectric		Grav		Dielectric	
	Rep ⁵	$\bar{x}$	Rep	$\bar{x}$	Rep	$\bar{x}$	Rep	$\bar{x}$
1	25,75	28,8	25,2	27,7	42,23	42,28	45,8	43,4
	29,87		27,8		43,88		40,2	
	30,78		30,2		40,72		44,2	
2	51,05	48,72	47,7	47,9	44	44,06	37,7	38,2
	45,82		50,9		45,65		37,6	
	49,31		45,2		42,53		39,4	
3	24,8	28,59	32,8	32,2	40,85	40,4	40,1	41,9
	28,87		30,9		41,72		45,2	
	32,11		32,8		38,62		40,5	
4	48,27	48,54	51,7	52	29,81	29	32,7	33,8
	49,88		50,9		26,89		33,2	
	47,48		53,5		30,31		35,6	
5	41,26	43,75	42,2	44,8	44,55	45,29	43,7	44,3
	44,8		48,6		44,34		44,4	
	45,2		43,6		46,98		44,8	
Samples	C				D			
	Grav		Dielectric		Grav		Dielectric	
	Rep	$\bar{x}$	Rep	$\bar{x}$	Rep	$\bar{x}$	Rep	$\bar{x}$
1	52,96	52,03	48,1	50,1	41,24	41,73	38,7	39,0
	52,5		51,2		43		40,5	
	50,63		50,9		40,94		37,7	
2	49,86	52,43	49,8	50,2	43,73	42,44	40,3	39,0
	53,73		50,9		42,73		37,4	
	53,7		49,8		40,86		39,3	
3	50,73	49,48	49,3	49,5	44,73	45,87	39,9	40,6
	48,59		51,5		46,23		38,3	
	49,11		47,8		46,65		43,6	
4	36,77	38,13	40,2	40,9	44,03	43,03	39,3	38,7
	42,06		40		45,53		40,8	
	35,56		42,6		39,53		35,9	
5	52,55	50,15	52,3	52,8	33,9	35,15	30,4	31,9
	49,43		51		36,4		35,7	
	48,47		55,2		35,14		29,6	

Source: The authors (2023).

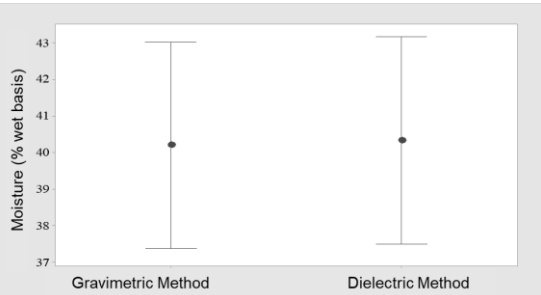
Figure 7. Interval of measurements using gravimetric and dielectric methods for chips A, B, C and D



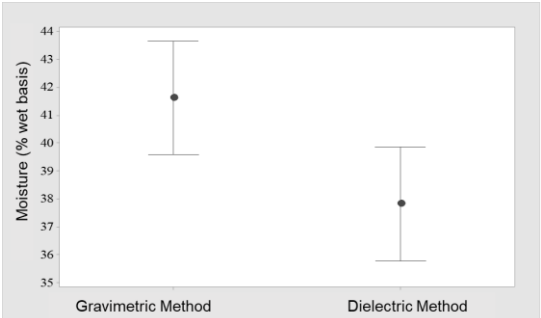
Legend: Chips A



Legend: Chips B



Legend: Chips C



Legend: Chips

Source: The authors (2023).

The Tukey test confirms the visual conclusion of equal means for the chips A, B and C and the difference between treatments for the chips D. Table 5 shows the P-

Value resulting from the analysis of variance and the groups resulting from the Tukey test.

Table 5. P-value results of anova for the gravimetric and dielectric methods application in each woodchips type

Woodchips type	P-Value	Tukey Group	
		Gravimetric	Dielectric
A	0,754	A _A	A _A
B	0,945	A _B	A _B
C	0,892	A _C	A _C
D	0,011	B _D	A _D

The authors (2023).

In the ANOVA context, the null hypothesis H_0 is the averages equality of the gravimetric and dielectric methods results. The P-values found for chips A, B and C are higher than the confidence level of 0,05 established, indicating the H_0 acceptance and pointing the same grouping for the two methods for both treatments: gravimetric and dielectric. Even though, the same can not to be said for chips D, for which the dielectric method could not be validated. The P-value of 0,011 indicates 89% certainty that the results of the gravimetric and dielectric methods were different.

The lower quality of the measurement equation elaborated for chips D with low determination coefficient R^2 and the already mentioned density variation for genus *Eucalyptus spp.* are factors that may have contributed to the negative result of validation for woodchips D. In addition, there is an extra factor that can explain the differences in measurements between the methods: the presence of bark in the samples.

As showed by Vale *et.al.* (2002), the bark has different physical properties of wood. Furtado *et.al.* (2012) measured the tree components moisture separately and concluded that the bark presented lower humidity than the other tree parts. This moisture dissimilarity, beyond the higher variation of the eucalyptus wood density and with the measurements made with a lower quality measurement equation, was the main reason for the difference between the measurements taken with the sensor and the laboratory results.

In this chi-squared fit quality test, the null hypothesis H_0 is the similarity between the observed data group (gravimetric method) and the hypothetical data group (dielectric method). As Table 6 shows, all p-values point to the H_0 acceptance. *I.e.*, the

values obtained with the gravimetric method are similar to the expected values of the dielectric method.

Table 6. Results of the value p of the qui-quadrado test for the application of the gravimetric and dielectric methods in each type of woodchips

Woodchips type	Cumulative probability	P-Value
A	0,021	0,978
B	0,053	0,947
C	0,004	0,996
D	0,039	0,961

The authors (2023).

It is possible to analyze the accuracy of the dielectric method by observing Table 4. The differences between the average of the measurements obtained with the dielectric method were in the order of one to three percentage units, for the measurement moisture range of 0 to 50% on wet basis, which are smaller than the accuracy related by Labosky *et.al.* (1993), of the order of three to four percentage units, by testing the microwave principle and the near-infrared method, in addition to the capacitive principle.

The precision of the two methods can also be observed by comparing the values of the replicates of each measure. Table 4 shows erros between replicates also of the order of two to three percentage units, for both gravimetric and dielectric methods, pointing to the similar precision between the two methodologies.

4. CONCLUSION

The dielectric method can be used to obtain early moisture responses not only from solid wood, but also from woodchips. It can be applied to control the wood purchase in pulp mills and to calculate the quantity of reagents in the cooking process with accuracy up to moisture values of 50% on wet basis, once the woodchips present uniformity in terms of grain size (bulk density) and physical properties (basic density). In the wood panel industries, the method can also be applied with precision close to two percentage units to control de woodchips moisture up to 50% and to control, ergo, the panels quality. In all industries that use boilers to energy generation from biomass, it is also possible to sell and by biomass based on its moisture content, in order to control the moisture in the woodchips stock yard and to monitor the characteristics of

the materials entering the boiler. However, in these cases, the precision should be smaller, about four units, especially for eucalyptus chips mixed with bark, since the biomass uniformity impacts on the quality of measurements.

5. AKNOWLEDGEMENTS

For the Laboratório de Secagem da Madeira (Wood Drying Laboratory) from UFPR support; for the equipment provided by Marrari Automação and for the first author scholarship provided by CAPES.

REFERENCES

- American Society for Testing and Materials. 2016. ASTM D4442: Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Based Materials. West Conshohocken.
- Berbert, P.-A.; Molina, M.-A.; Carlesso, V.-O.; Oliveira, M. T.R. 2007. Determinação do teor de água de sementes de café empregando o método da capacitância em radiofrequências. *Revista Brasileira de Sementes* 29: 159-170.
- Biermann, C.-J. 1996. Handbook of Pulping and Papermaking. *Academic Press* 2, 1-754.
- Furtado, T.; Ferreira, J.; Brand, M.; Neves, M. 2012. Correlação entre teor de umidade e eficiência energética de resíduos de Pinus taeda em diferentes idades. *Árvore, Viçosa* 36, 577-582.
- Hernández, R.-D.; Lachman, M.-F.; Griffin, P.-J.; Lewand, L. 2018. Impact of Aging By-Products on Moisture Estimation in Transformers using Dielectric Response Measurements. *IEEE Latin America Transactions* 13. 469-475.
- Jensen, P.-D.; Hartmann, H.; Bohm, T.; Temmerman, M.; Rabier, F.; Morsing, M. 2006. Moisture content determination in solid biofuels by dielectric and NIR reflection methods. *Biomass and Bioenergy* 30, 935–943.
- Labosky Jr., -P.; Yobp, R.-D.; Janowiak, J.-J.; Blankenhorn, P.-R. 1993. Effect of steam pressure refining and resin levels on the properties of UF-bonded red maple MDF. *Forest Products Journal* 43, 82-88.
- Lima, E. A. de. 2010. Alternativa para estimar o preço da madeira para energia. *Colombo: Embrapa Florestas* 260, 1-3.
- Oliveira, J.-T.-S., Hellmeister, J.-C., Tomazello Filho, M. 2005. Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto. *Árvore* 29, 115-127.
- Maloney, T.-M. 1989. Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing. *Miller Freeman*.
- McKendry, P. 2001. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass. *Bioresource Technology* 83, 37–46.
- Nyström, J. Dahlquist, E. 2004. Methods for determination of moisture content in woodchips for power plants - a review. *Fuel* 83, 773-779.
- Paz, A.-M. 2010. The Dielectric Properties of Solid Biofuels. *Malardalen University Sweden - School of Sustainable Development of Society and Technology*. Västerås, Sweden.
- Ribeiro, F.-A., Filho, J.-Z. 1993. Variação da densidade básica da madeira em espécies/procedências de Eucalyptus spp. *IPEF* 46, 75-85.

Calonego, F.-W.; Batista, W.-R.; Severo, E.-T.-D.; Santos, J.-E.-G.; Ribas, C. 2006. Avaliação do teor de umidade da madeira de *Eucalyptus grandis* por medidores elétricos resistivos. *Revista do Instituto Florestal* 4, 71–78.

Simpson, W. T.; Service, F. 1991. Manual Dry Kiln Operator's Manual. *United States Department of Agriculture* 188, 1-188.

Vale, R.-S.-do.; Macedo, R.-L.-G.; Venturin, N.; Mori, A.-F.; Moraes, A.-R.-de. 2002. Efeito da desrama artificial na qualidade da madeira de clones de eucalipto em sistema agrossilvipastoril. *Revista Árvore* 3, 285-297.

Weber, C. 2011. Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. Dissertação (Master in Forest Engineering) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná).

Shang, X.D., Jinsong, D.Y., Juyong, A.M.K. 1991. Study on the electric – analogous methods to measure the moisture content field of wood particle materials. *CNKI* 06.

SOBRE A ORGANIZADORA

Aderjane Ferreira Lacerda - Graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal do Pará. Mestrado em processos de secagem e Doutorado em sistemas particulados com foco na separação sólido-gás. pela Universidade Federal de Uberlândia. Atualmente Professora Associada III e Chefe do Departamento de Engenharia Química na Universidade Federal de São João Del Rei.

