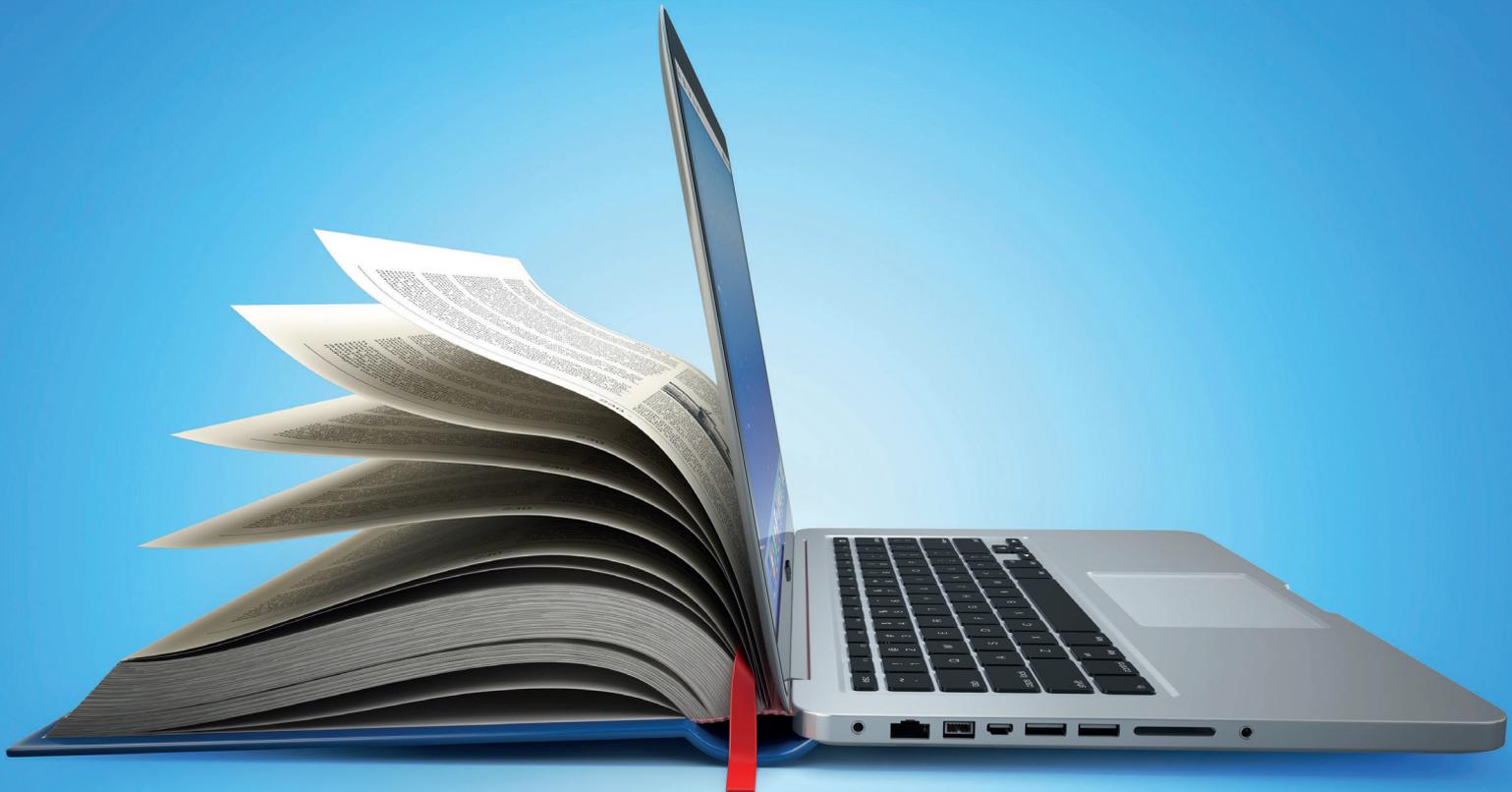


ISSN 2316-8382

RTC

REVISTA TÉCNICA CIENTÍFICA DO IFSC



REITOR
André Dala Possa

DIRETOR EXECUTIVO
Juarez Pontes

PRÓ-REITORA DE ADMINISTRAÇÃO
Fabiana Besen Santos

PRÓ-REITOR DE DESENVOLVIMENTO INSTITUCIONAL
Egon Sewald Junior

PRÓ-REITOR DE ENSINO
Luiz Otávio Cabral

PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO E RELAÇÕES EXTERNAS
Rafael Nilson Rodrigues

PRÓ-REITOR DE PESQUISA, PÓS-GRADUAÇÃO E INOVAÇÃO
Ailton Durigon

EQUIPE EDITORIAL

Editora-Assistente

Luciane Farias Carneiro

Conselho editorial

Dr Roberto João Eissler, IFSC-Campus Jaraguá do Sul, Brasil - Editor geral
Dra Viviane Grimm, IFSC - Campus Jaraguá do Sul, Brasil
Msc Glauco Cardozo, IFSC- Campus Florianópolis, Brasil
Dra Jaciara Mazo, IFSC, Diretoria de Pesquisa e Pós- Graduação- Reitoria, Brasil
Msc Fabiana de Agapito Kangerski, IFSC- Campus Garopaba, Brasil
Dra Rosane Schenkel de Aquino, IFSC - Campus Lages, Brasil
Dr Silmar Primieri, IFSC- Campus Lages-, Brasil
Dr Vitor Gomes da Silva, IFSC- Campus Garopaba, Brasil

Revisores de Texto e Ortográfico

Ananda Mila Kohn
Paula Clarice Santos Grazziotin de Jesus
Rubia Mara Bragagnollo

Projeto Gráfico

Glauco Borges

Diagramação

Glauco Borges / Henrique Lara

Catálogo na fonte pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina – IFSC Reitoria

Revista técnico-científica do IFSC [recurso eletrônico] / Instituto
Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. -
n. 10 (dez. 2020). - Florianópolis: Publicação do IFSC, 2020.
65 p. : il.

Semestral
Inclui bibliografias
ISSN 2316-8382

1. Educação. 2. Ciência e Tecnologia. I. Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina. II. Título.

CDD 370

A Revista Técnico-Científica do IFSC (RTC – IFSC) se caracteriza como uma revista multidisciplinar e nesta edição apresenta um conjunto de sete artigos que retratam investigações sobre: química, ecologia, engenharia, ensino de matemática e de física.

A primeira metade desta edição apresenta os artigos das áreas de química e ecologia. O primeiro, intitulado **“Determinação de cálcio, potássio e sódio em bananas de cultivo convencional e orgânico da região de Jaraguá do Sul”** avalia quantitativamente as diferenças de cálcio, potássio e sódio nas bananas de produção convencional e orgânica revelando que as bananas de produção orgânica apresentam resultados similares aos informados pela Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos, mas discrepantes para as de produção convencional. O segundo artigo, **“Remoção de cafeína de efluentes através de leito de macrófita de fluxo subsuperficial vertical plantado com Vetiveria zizanioides”** avalia a capacidade de remoção da cafeína através de fitorremediação, em um leito plantado com Vetiveria zizanioides (capim-vetiver) em agregados leves de argila expandida, os autores verificaram que a exposição da planta à cafeína causou uma diminuição no teor de clorofila a e b e total. Este estudo aponta para a possibilidade do uso da fitorremediação como uma tecnologia de baixo custo aplicável ao tratamento de águas residuais contaminadas com compostos emergentes. O artigo seguinte, **“Óleo residual de fritura e sebo bovino: matérias-primas alternativas à produção de biodiesel”** apresenta opções alternativas de matérias primas para produção de biodiesel. E o último deste bloco **“Levantamento de Avifauna no IFSC Câmpus Florianópolis, SC”** estudou três subáreas do IFSC Câmpus Florianópolis, utilizando como método o avistamento, em nove campanhas de coleta e 14 horas de observação. Verificou-se uma riqueza de 28 espécies, abundância total de 1336 espécimes e sete espécies abundantes na área total estudada, incluindo exóticas e aves frequentes em áreas de mata e revela que ainda que essa área não tenha sido planejada para atrair avifauna, observa-se que ela desempenha um papel importante na ecologia urbana da região.

Na segunda metade desta edição temos o artigo **“Análise estrutural de flexo-torção: um comparativo analítico, experimental e numérico”** que realiza um comparativo dos valores de tensões e deformações presentes na estrutura de um dispositivo mecânico de flexo-torção em três massas diferentes nos experimentos, e verifica que a tensão de Von Mises atingiu valores de 23, 24 e 27% distantes dos valores teóricos e 14, 15 e 19% simulados computacionalmente. Os dois artigos que finalizam esta edição são: na área de Ensino de Matemática, intitulado **“Uma Análise Matemática Particular das Características Essenciais de Quadrados Mágicos de ordem ímpar: Uma Sugestão Pedagógica no Processo de Ensino e Aprendizagem de Matemática”** apresenta um estudo de um caso particular de Quadrados Mágicos de ordem ímpar, com a intenção de sugerir esse modelo matemático como atividade pedagógica regular no ato de ensinar e no ato de aprender matemática na educação básica. E na área de Ensino de física, intitulado **“O Ensino dos Fenômenos Ondulatórios Mecânicos: um estudo sobre os experimentos propostos em livros didáticos de Física do Ensino Médio”** investiga os experimentos que envolvem os fenômenos ondulatórios mecânicos que são propostos nos livros didáticos de Física para o Ensino Médio, indicados pelo PNLD de 2018 e evidencia que a escolha apropriada do livro didático de Física é um elemento importante para contribuir na qualidade do processo de ensino e aprendizagem.

Boa leitura.

Roberto João Eissler
Editor da RTC – IFSC

Todos os artigos desta publicação são de inteira responsabilidade de seus respectivos autores, não cabendo qualquer responsabilidade legal sobre o seu conteúdo à Revista Técnico-Científica ou ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC). Os artigos podem ser reproduzidos total ou parcialmente, desde que a fonte seja devidamente citada e seu uso seja para fins acadêmicos.

SUMÁRIO

DETERMINAÇÃO DE CÁLCIO, POTÁSSIO E SÓDIO EM BANANAS DE CULTIVO CONVENCIONAL E ORGÂNICO DA REGIÃO DE JARAGUÁ DO SUL	04
REMOÇÃO DE CAFEÍNA DE EFLUENTES ATRAVÉS DE LEITO DE MACRÓFITA DE FLUXO SUBSUPERFICIAL VERTICAL PLANTADO COM VETIVERIA ZIZANIOIDES	13
ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA E SEBO BOVINO: MATÉRIAS-PRIMAS ALTERNATIVAS À PRODUÇÃO DE BIODIESEL	21
LEVANTAMENTO DE AVIFAUNA NO IFSC CÂMPUS FLORIANÓPOLIS, SC	27
ANÁLISE ESTRUTURAL DE FLEXO-TORÇÃO: UM COMPARATIVO ANALÍTICO, EXPERIMENTAL E NUMÉRICO	36
UMA ANÁLISE MATEMÁTICA PARTICULAR DAS CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS DE QUADRADOS MÁGICOS DE ORDEM ÍMPAR: SUGESTÃO PEDAGÓGICA NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DE MATEMÁTICA	45
O ENSINO DOS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS MECÂNICOS: UM ESTUDO SOBRE OS EXPERIMENTOS PROPOSTOS EM LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO	52

BOA
LEITURA!

DETERMINAÇÃO DE CÁLCIO, POTÁSSIO E SÓDIO EM BANANAS DE CULTIVO CONVENCIONAL E ORGÂNICO DA REGIÃO DE JARAGUÁ DO SUL

JULIANO CARVALHO RAMOS¹

GIOVANI PAKUSZEWSKI²

BEATRIZ VIRGÍNIA ITTNER³

BRUNA GABRIELY VARGAS MORAIS⁴

EVELIN NATALIA PIETSCH⁵

GABRIELI APOLINÁRIO DE SOUZA⁶

NATALY ALVEZ DE ARAUJO⁷

Resumo - A banana é a fruta fresca mais consumida no mundo, sendo o Brasil o quarto maior produtor mundial e o primeiro em consumo interno. Embora o cultivo convencional se sobreponha ao orgânico, este cultivo alternativo apresenta vantagens quanto à inocuidade do produto final, fator relevante para os consumidores e para saúde pública. Sabendo que a composição de minerais presentes nos alimentos é um dado nutricional importante, este trabalho avalia quantitativamente as diferenças de cálcio, potássio e sódio nas bananas de produção convencional e orgânica. O procedimento experimental consistiu na coleta representativa das bananas seguida da digestão em meio de HNO₃ sob aquecimento durante 1h. As quantificações foram procedidas por espectrometria de absorção e emissão atômica, revelando que as bananas de produção orgânica apresentam resultados similares aos informados pela Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos, mas as de produção convencional são discrepantes, possivelmente devido ao uso excessivo de fertilizantes sintéticos. magnético.

Palavras-Chave: Banana, *Musa spp.*, Plantio Orgânico, Minerais, Espectrometria Atômica.

INTRODUÇÃO

De acordo com Godoy (2010), a banana se originou em países orientais como Indonésia, Malásia, Filipinas e Índia há mais de 4000 anos, mas sua origem não é exata já que se mescla com a mitologia grega e indiana. No Brasil, os primeiros registros desta fruta são descritos próximo à data do descobrimento, quando Pedro Álvares Cabral observou os indígenas ingerindo a banana, que se acredita ser do tipo branca. A banana começou a ser comercializada internacionalmente com mais intensidade no século

1 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Câmpus Jaraguá do Sul, Professor de Química / juliano.ramos@ifsc.edu.br

2 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Câmpus Jaraguá do Sul, Professor de Química / giovanipak@ifsc.edu.br@ifsc.edu.br

3 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Câmpus Jaraguá do Sul, Aluna do Curso Técnico em Química - beatrizvittnerittner@gmail.com

4 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Câmpus Jaraguá do Sul, Aluna do Curso Técnico em Química - brunagabrielyvm@gmail.com

5 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Câmpus Jaraguá do Sul, Aluna do Curso Técnico em Química - pietschevelin@gmail.com

6 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Câmpus Jaraguá do Sul, Aluna do Curso Técnico em Química - gabimcapim@gmail.com

7 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Câmpus Jaraguá do Sul, Aluna do Curso Técnico em Química - araujonataly262@gmail.com

XIX, chegando em regiões frias (onde é muito consumida) em virtude aos avanços da refrigeração no transporte marítimo e ferroviário.

As bananeiras (*Musa spp.*) produzem frutos comestíveis pertencentes à classe das Monocotiledôneas, ordem Scitaminales, família Musaceae (FRANCISCO et al., 2014). Englobam sistema radicular, caule subterrâneo (rizoma), pseudocaule (tronco), folhas e cacho (engajo, raque e coração). Na parte superior do cilindro central do rizoma, está localizada a gema apical do crescimento que é responsável pelo desenvolvimento da planta (OLIVEIRA, 2010).

A produção de banana é favorecida pelo clima das zonas tropicais e subtropicais. Na região do norte catarinense, há abundância nas plantações de bananeiras, em sua grande maioria baseadas no sistema de plantio convencional. Segundo Ormond et al. (2002), existem cerca de dez tipos de produção agrícola no mundo, sendo elas classificadas em: alternativa, biológica, convencional, dinâmica, ecológica, integrada, natural, orgânica, sustentável e transgênica.

A agricultura convencional é explicada por Farias et al. (2003) como um sistema em que as práticas são feitas de acordo com a opção do produtor, podendo ser utilizados produtos fitossanitários (agrotóxicos). Esses procedimentos, aliados às recentes inquietações globais com saúde e sustentabilidade do planeta, tornaram-se as principais motivações para produção de alimentos menos nocivos e mais saudáveis, destacando-se a produção orgânica.

Darolt (2003, p. 290) compartilha deste pensamento ao afirmar que “a busca da qualidade alimentar está se tornando uma das principais preocupações dos consumidores conscientes”. No Brasil, sistemas orgânicos de agropecuária são definidos pelo art. 1º da Lei n.10.831, de 23 de dezembro de 2003, que tem por objetivo a sustentabilidade ecológica, minimização da dependência de energia não renovável e emprego preferencial aos métodos culturais, biológicos e mecânicos em contraposição ao uso de materiais sintéticos, geneticamente modificados e de radiações ionizantes.

A composição de minerais presentes nos alimentos é um dado nutricional importante. Desde 1930, pesquisas sobre a composição de minerais nas bananas têm sido realizada, expandindo-se principalmente na década de 1960 (LAHAV, 1995). A Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos (TACO) apresenta os teores de alguns minerais importantes presentes em uma vasta quantidade de alimentos (processados ou in natura), sendo que a banana possui quantidades elevadas de potássio (K), moderadas de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), e baixas para cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), sódio (Na) e zinco (Zn) em comparação a outras frutas (NEPA, 2011).

O potássio é um elemento que atua principalmente no controle da pressão arterial, diminuindo a pressão diastólica e sistólica em pacientes adultos (IPI, 2013). Já o cálcio é extremamente importante para a mineralização de ossos e dentes (FRANÇA; MARTINI, 2018) além de ser essencial na mitose e coagulação sanguínea (PEREIRA, 2009). Embora o sódio seja o principal eletrólito do fluido extracelular contribuindo para a absorção de nutrientes, contração muscular e transmissão nervosa, a quantidade excessiva deste elemento pode causar, por exemplo, aumento da pressão arterial (BAZANELLI; CUPPARI, 2009).

Para identificar e quantificar os diversos elementos presente nos alimentos, comumente as amostras alimentícias são submetidas a um processo de pré-tratamento, de modo que possam ser inseridas nos instrumentos de análise. Para analitos metálicos, um dos procedimentos mais empregados na conversão das amostras se baseia na dissolução em meio ácido, empregando ácidos oxidantes concentrados, podendo ser potencializados com o aumento da temperatura e/ou aplicação de pressão, além do uso de reagentes auxiliares (KRUG et al., 2016).

Após a digestão ácida das amostras, espera-se que somente moléculas pequenas e íons estejam presentes no meio, podendo ser identificados ou quantificados com instrumentação analítica apropriada. Os métodos espectrométricos atômicos permitem a determinação de mais de 70 elementos em concentrações em partes por milhão ou menores, além de serem técnicas bem consolidadas, rápidas, convenientes, de alta seletividade e relativamente difundidas no mercado (SKOOG, et al., 2018). As análises mais rotineiras requerem apenas que as amostras estejam na forma de solução e, sob esta

condição, a espectrometria de emissão atômica (sigla AES, do inglês: atomic emission spectrometry) e a espectrometria de absorção atômica (sigla AAS, do inglês: atomic absorption spectrometry) (HAGE; CARR, 2012) destacam-se pela simplicidade no uso e alta frequência analítica.

Segundo Okumura et al. (2004), a AES (também conhecida como fotometria de chama) é uma das técnicas analíticas mais simples existentes para quantificação de alguns metais alcalinos e alcalinos terrosos. O procedimento consiste em inserir uma amostra líquida (com baixo teor de sólidos dissolvidos), contendo os cátions metálicos de interesse, em uma chama composta por ar e gás liquefeito de petróleo (GLP). Esta mistura de gases fornece energia suficiente (temperaturas entre 1700 a 1900 °C) para excitar a grande maioria dos elementos com um ou dois elétrons na camada de valência. Devido ao tempo de vida do estado excitado de um átomo gasoso ser muito curto (aproximadamente 10^{-9} s) (HARRIS, 2017), eles tendem a voltar para o estado fundamental, liberando a energia excedente na forma de radiação eletromagnética em comprimento de onda característico.

Já a AAS possui alguns princípios similares ao AES, principalmente aos processos de introdução de amostra (geração de aerossol com subseqüentes fenômenos físicos e químicos, tais como evaporação do solvente; vaporização, dissociação e atomização das espécies químicas de interesse). Entretanto uma fonte de radiação é requerida para excitar os analitos e, nos casos mais frequentes, a mistura de ar (comburente) e acetileno (combustível) é empregada para produzir chamas com temperaturas entre 2100 a 2400 °C capaz de atomizar cerca de 30 a 35 elementos da tabela periódica (WELZ; SPERLING, 1999).

Neste viés, o objetivo deste trabalho é propor um método para quantificar Ca, K e Na, em bananas nanicas (na região sul, conhecidas também como imperial ou caturra) de produção convencional e orgânica por espectrometria de emissão atômica em chama (F AES) ou por espectrometria de absorção atômica em chama (F AAS), a fim de verificar se há diferenças significativas desses elementos em cada tipo de cultivo, tendo como referência os valores descritos pela TACO.

Fig PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

As amostras de banana foram coletadas diretamente com os produtores da região de Jaraguá do Sul - SC. A fim de evitar eventuais discrepâncias decorrentes do solo e clima, a coleta dos dois plantios (convencional e orgânico) ocorreu em áreas próximas e suas localizações são apresentadas na Figura 1.



Figura 1: Locais de coleta das bananas nanicas (coordenadas: -26.495886, -49.157770). As regiões em vermelho representam o cultivo convencional e as em amarelo, o cultivo orgânico.

FONTE: Google Maps, Google.

Para melhor representatividade, três pencas de cada cultivo foram coletadas, descascadas e processadas com o uso de um liquidificador, e então armazenadas no congelador para futuras análises.

O teor de umidade nas bananas foi verificado baseando-se no procedimento descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (ZENEBON et al., 2008), o qual consistiu em pesar 1,00 g de banana de cada penca de ambas as produções, introduzi-las na estufa na temperatura de aproximadamente 105 °C durante 40 minutos e, após esse período, transporta-las até o dessecador, permanecendo neste recipiente por 15 minutos sob vácuo. E em seguida, mensurou-se as massas das bananas, utilizando balança analítica. O processo de secagem foi repetido até obtenção de massa constante.

Massas de bananas em triplicata de 1,0 g, 2,5 g, 5,0 g e 10,0 g foram utilizadas para verificação da quantidade mais adequada para promover dissolução completa das amostras (ausência de partículas visíveis a olho nu).

Os ácidos clorídrico (HCl), nítrico (HNO₃) e sulfúrico (H₂SO₄) foram avaliados como prováveis meios para digestão das amostras. Para aumentar a velocidade da degradação, as amostras foram aquecidas em chapa de aquecimento. Em seguida, filtradas à vácuo, transferidas para tubos cônicos de polipropileno e avolumadas com água deionizada.

Sucintamente o procedimento otimizado da digestão consistiu em pesar 2,5 g da polpa da banana previamente triturada, adicionar 7,0 mL de HNO₃ 70% (m/v), aquecer a mistura por 1 h a 80 °C, filtra-la usando papel filtro quantitativo de 28 µm e transferir a amostra digerida para tubos do tipo falcon de 50,0 mL, completando o volume com água deionizada.

As quantificações de Na e K foram procedidas no espectrômetro de emissão atômica (910MS, Analyser) e Ca no espectrômetro de absorção atômica (AAAnalyst 400, PerkinElmer). Padrões Ca, Na e K de 1000 mg L⁻¹ (SpecSol, São Paulo), devidamente diluídas, foram utilizadas como soluções de referências para construção das curvas de calibração correspondentes. Devido às quantidades significativas de Ca e K previstas nas amostras de banana, foi requerida sua diluição em 10 vezes previamente a sua determinação. Já para o Na não foi necessário diluir as amostras..

RESULTADOS E DISCUSSÃO

banana proveniente da produção convencional apresentou porcentagem média de 70,0 ± 8,2% em água. Já para a banana de produção orgânica, a porcentagem foi de 78,0 ± 2,6%. Tendo como referência o valor descrito pela TACO de 73,8% em umidade, nota-se que os valores obtidos em ambas as produções estão próximos aos valores de referência.

Entretanto se observa maior média e melhor precisão para as bananas de cultivo orgânico, sugerindo que este cultivo promova processos metabólicos mais saudáveis à fruta, uma vez que menores quantidades de água possam estar associadas a respiração mais acelerada das bananeiras (BURDON, et al., 1994).

DIGESTÃO EM MEIO ÁCIDO DAS AMOSTRAS

Preliminarmente, foi verificado o desempenho do HCl, HNO₃ e H₂SO₄ na digestão das bananas. O HCl revelou ser um ácido pouco promissor na dissolução das amostras, mesmo sob aquecimento, o que é justificado por ele não possuir ação oxidante, mesmo caracterizado como um ácido forte, oferecendo apenas degradação parcial a matrizes orgânicas. Já o HNO₃ é um forte agente oxidante e foi capaz de degradar majoritariamente a banana e, aumentando a temperatura, a dissolução foi beneficiada tornando a mistura mais clara. O H₂SO₄ também se mostrou favorável para digestão, promovendo rápida oxidação da matéria orgânica, devido a sua ação desidratante, evidenciada pela coloração escura na mistura, em razão da presença de carbono amorfo. Entretanto havia partículas em tamanhos mensuráveis na mistura, mesmo após aquecimento, desfavorecendo a escolha deste ácido (FLORES, 2014).

Assim, o HNO₃ foi selecionado como ácido para dissolução das bananas provenientes do cultivo convencional e orgânico. A Figura 2 mostra o desempenho dos três ácidos na digestão das amostras.

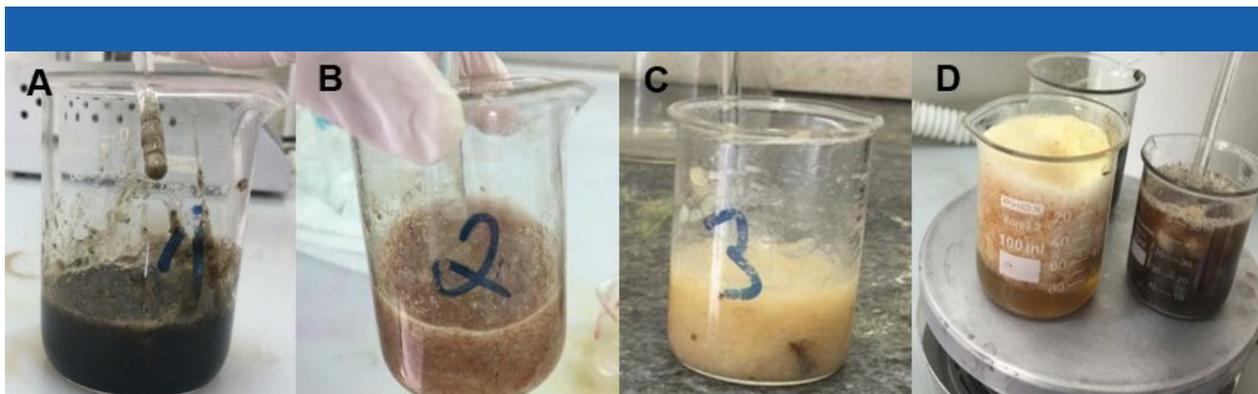


Figura 2. Dissolução da banana nanica em meio ácido. As digestões ocorreram, sem aquecimento, em meio de H₂SO₄ em A, HCl em B e HNO₃ em C. Em D apresenta os três meios sob aquecimento, a esquerda com HNO₃, a direita com HCl e atrás (pouco visível) com H₂SO₄. A massa utilizada de banana foi de 10,0 g previamente triturada com 20 mL do ácido correspondente (eventualmente com acréscimo de água).

A massa de amostra foi outro parâmetro otimizado. Com intuito de obter valores representativos, considerando eventuais perdas no processo e atendendo à sensibilidade instrumental, sugere-se o uso de massas significativas da amostra ($\geq 1,0$ g) para digestão. Entretanto, massas muito elevadas ($\geq 10,0$ g) podem consumir muitos reagentes e gerar apreciáveis quantidades de resíduos, requerendo a seleção de uma condição de compromisso.

Considerando os limites descritos, foi verificada a massa ideal para digerir completamente a banana, tendo como limitante o volume de 7,0 mL de HNO₃, observando os aspectos finais da solução e a quantidade de sólido retido durante a filtração. Como esperado, as massas aos extremos se mostraram desvantajosas, evidenciando que a digestão envolvendo 10,0 g apresenta quantidades visíveis de sólido suspenso na mistura, acarretando apreciáveis retenções de partículas durante a filtração. Em contrapartida, a massa de 1,0 g revelou dissolução completa e ínfima quantidade de sólido retido durante a filtração, porém essa massa pode não ser representativa e, eventualmente, não atender a sensibilidade dos espectrômetros – principalmente para Na, que deve estar em baixas concentrações, sugerindo que massas maiores a de 1,0 g devam ser preferencialmente selecionadas.

As massas de 5,0 g e 2,5 g apresentaram digestão mais efetiva, todavia a massa de 2,5 g demonstrou desempenho significativamente superior, pela homogeneidade da solução, menor turbidez e insignificantes quantidades de sólidos presentes durante a filtração, se assemelhando às características da digestão envolvendo 1,0 g de amostra, sendo, portanto, a massa de 2,5 g a ideal para digestão das bananas. A Figura 3 apresenta os aspectos da digestão envolvendo as massas de 5,0 e 2,5 g de amostra.

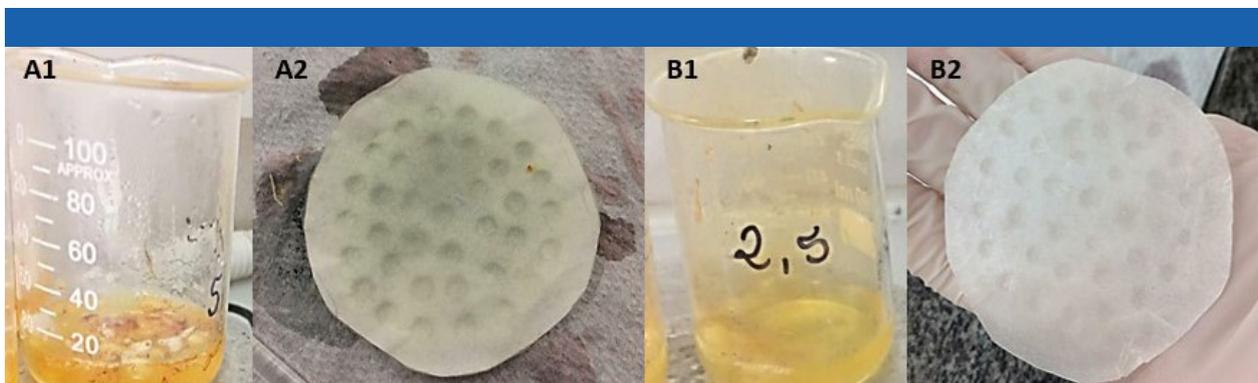


Figura 3. Dissolução da banana nanica com diferentes massas em meio a 7,0 mL de HNO₃ com subsequente retenção de partículas em papel filtro contendo porosidade de 28 μ m. Em A1 e B1 digestão envolvendo 5,0 e 2,5 g de amostra respectivamente. Em A2 e B2 retenção das partículas no papel filtro provenientes das digestões utilizando 5,0 e 2,5 g de amostra respectivamente..

Quantificação de Ca, K e Na nas bananas de produção convencional e orgânica

Os resultados obtidos das determinações foram comparados com os valores descritos pela Tabela Brasileira de Composição dos Alimentos. Por esse motivo, as concentrações serão apresentadas em mg do analito correspondente por 100 g da polpa da fruta. Os dados da TACO referem-se a amostra in natura, considerando, portanto, a água presente nos alimentos. Assim, as quantificações neste trabalho estarão em função da massa úmida das bananas.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos de Ca e K nas bananas nanicas provenientes do cultivo convencional e orgânico, comparando com os valores descritos pela TACO. Para os teores de Na, mesmo adotando massas de amostras superiores a 1,0 g, os resultados se mostraram inferiores ao limite de quantificação do F AES (< 2 mg de Na por 100 g de fruta), para ambas as produções, inferindo que este elemento é pouco abundante na fruta, sugerindo concordância com o valor descrito pela TACO, a qual reporta que este metal alcalino está presente em quantidade traço.

Plantio	Cálcio (mg/100 g da fruta)	Potássio (mg/100 g da fruta)
Referência (TACO)	3	376
Produção convencional	55 ± 6	298 ± 59
Produção orgânica	9 ± 3	384 ± 75

Tabela 1: Quantificação de Ca e K em bananas de cultivo convencional e orgânico. Amostras digeridas em meio de HNO₃ utilizando F AES e F AAS como ferramentas analíticas de quantificação. Número de réplicas das amostras é de nove (n = 9).

Ao visualizar a Tabela 1, nota-se que ambas as produções possuem quantidades médias de Ca superiores aos reportados pela TACO. As bananas de produção convencional possuem cerca de 6 vezes mais Ca que as da produção orgânica e, ao comparar com o valor da TACO, a diferença passa a ser 18 vezes maior. Já a produção orgânica possui 3 vezes mais Ca em comparação ao valor de referência, sugerindo que o solo desta região possui naturalmente níveis elevados deste metal alcalino terroso em sua composição.

Entretanto a discrepância aos valores de Ca para a produção convencional preconiza que haja adições intencionais deste elemento no manejo das plantas, possivelmente durante a adubação ou correção do pH do solo, empregando fertilizantes sintéticos que possuem em sua composição óxido de cálcio (CaO) ou carbonato de cálcio (CaCO₃) na forma de calcário (SILVA JUNIOR, et al., 2010), por exemplo.

Muitos pequenos e médios produtores fazem uso dispendioso de aditivos ao solo, geralmente com a adição em excesso para “garantir a colheita”. Entretanto quantidades significativamente elevadas podem causar anomalias à planta e eventualmente prejudicar o consumidor devido às quantidades anormais na fruta.

Kotchi (2013) discute os impactos adversos do uso de fertilizantes minerais na agricultura, destacando o uso intensivo destes insumos por pequenos agricultores. Embora os fertilizantes possam promover aumento na produtividade e redução da pobreza no país, há indicações de que eles prejudicam o meio ambiente e deterioram a fertilidade do solo. Como exemplos alternativos mais sustentáveis, o autor descreve o uso de fertilizantes orgânicos para restaurar os níveis de nutrientes no solo, diminuindo os riscos de produção e aumentando a segurança alimentar.

Observando novamente a Tabela 1, verificam-se distinções menos acentuadas para o K em comparação ao Ca. Todavia a concentração de K nas bananas convencionais é cerca de 21% inferior ao valor de referência e 22% abaixo aos das bananas orgânicas. Em contrapartida, as bananas orgânicas revelaram concentração média apenas 2% superior em comparação ao valor da TACO para K, sendo mais condizente com os valores nutricionais esperado para a fruta.

Araujo (2008) afirma que “existe um mecanismo de manutenção do balanceamento de Ca, K e Mg na planta, sendo que o excesso de um induz a deficiência de outro”, justificando a menor concentração de K para as bananas convencionais. Embora o magnésio não tenha sido quantificado, espera-se que este elemento esteja também em quantidades anômalas neste tipo de cultivo, similarmente aos resultados observados para as plantações de milho (MEDEIROS, et al., 2008).

CONCLUSÕES

Um método simples, rápido e pouco dispendioso para quantificar Ca, K e Na em bananas nanicas proveniente do cultivo convencional e orgânico foi proposto, fazendo uso apenas de pequenos volumes de HNO₃ como reagente. Este método mostrou ser de fácil reprodução em laboratórios que disponham de instrumentações modestas de análises.

Os resultados indicam que há diferenças significativas nas concentrações de Ca e K para as bananas convencionais e orgânicas, mas não para Na que se manteve na concentração traço. As dessemelhanças para os dois tipos de plantios podem ser decorrentes do uso demasiado de fertilizantes sintéticos, ocasionando excesso de um nutriente em detrimento de outros, afetando a saúde da planta.

A banana de cultivo orgânico revelou quantidades mais próximas aos valores de referência, além de possuir maior teor de água em sua composição, indicando processos metabólicos mais saudáveis à planta. É válido ressaltar que a banana de ambos os cultivos continua sendo rica em Ca, K e em muitos outros nutrientes importantes na dieta alimentar, incentivando o seu consumo periódico para obtenção dos benefícios nutricionais que esta fruta proporciona.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa familiar Ecofrutícola Uecker pela oportunidade de conhecer seu cultivo e pela concessão das bananas orgânicas.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, J. P. C. **Crescimento e marcha de absorção de nutrientes de bananeira (Musa sp. AAA), ‘Grande Naine’ no primeiro ciclo de produção.** Tese (Doutorado), Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

BURDON, J. N. et al. The post-harvest ripening of water stressed banana fruits. **Journal of Horticultural Science.** v. 69, n. 5, p. 799 – 804, 1994.

BAZANELLI, A. P.; CUPPARI, L. Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes: Sódio. **International Life Sciences Institute do Brasil**, São Paulo, v. 4, 2009.

BRASIL. **Lei n. 10.831**, de 23 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a agricultura orgânica e dá outras providências. Disponível em: < <http://www.planalto.gov.br/>>. Acesso em 07out2020.

DAROLT, M. R. Comparação da Qualidade do Alimento Orgânico com o Convencional. In: STRINGHETA, P.C & MUNIZ, J.N. **Alimentos Orgânicos: Produção, Tecnologia e Certificação.** Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, p. 289-312, 2003.

FARIAS, R. M. et al. Produção convencional x integrada em pessegueiro cv. marli na depressão central do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 25, n. 2, p. 253 - 255, 2003.

FLORES, E. M. M. **Microwave-Assisted Sample Preparation for Trace Element Determination.** Elsevier. Amsterdam, 2014.

FRANÇA, N. A. G.; MARTINI, L. A. Cálcio. Funções plenamente reconhecidas de nutrientes, **ILSI International Life Sciences Institute do Brasil**, São Paulo, v. 1, 2018.

FRANCISCO, M. S. et al. Efeito das condições de manejo nas características sensoriais de banana (*Musa spp*) cv. pacovan. **Revista Brasileira de Fruticultura**. São Paulo, v. 36, n. 2, p. 313 – 317, junho de 2014.

GODOY, R. C. B. **Estudo das variáveis de processos de doce de banana de corte elaborado com variedade resistente à sigatoka-negra**. Tese (Doutorado), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

HAGE, D. S.; CARR, J. D. **Química Analítica e Análise Quantitativa**. Person Education, 2012.

HARRIS, D. C. Análise química quantitativa. **LTC**, Rio de Janeiro, 9a ed., p. 525, 2017.

IPI Instituto Internacional do Potássio. **Potássio um Nutriente Essencial para a Vida**. Disponível em: HYPERLINK “<https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/397-potassio-um-nutriente-essencial-para-a-vida.pdf>” <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/397-potassio-um-nutriente-essencial-para-a-vida.pdf> Acesso em 20/01/2020

KOTSCHI, Johannes. **A soiled reputation: Adverse impacts of mineral fertilizers in tropical agriculture**. Association for Agriculture and Ecology. Heinrich Böll Stiftung. Alemanha, 2013.

KRUG, F. J.; ROCHA, F. R. P. **Métodos de preparo de amostras para análise elementar**. Sociedade Brasileira de Química, São Paulo, 2016.

LAHAV, E. **Banana nutrition**. In: **Gowen S. (eds) Bananas and Plantains**. World Crop Series. Springer, Dordrecht, p. 258 – 316, 1995.

NEPA - Núcleo de Estudos e pesquisas em Alimentação. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. BookEditora, São Paulo, 4a ed., p. 35-36, 2011.

MEDEIROS, J. C. et al. Relação cálcio: magnésio do corretivo da acidez do solo na nutrição e no desenvolvimento inicial de plantas de milho em um Cambissolo Húmico Álico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 29, n. 4, p. 799 – 806, 2008.

OLIVEIRA, H. S. **Comportamento de cultivares de bananeira (*Musa spp*) resistentes a doenças no processo de micropropagação**. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2010.

OKUMURA, F. et al. Experimentos simples usando Fotometria de Chama para Ensino de Princípio de Espectrometria Atômica em Cursos de Química Analítica. **Química Nova**. São Paulo, v. 27, n. 5, p. 832 - 836, 2004.

ORMOND, J. G. P. et al. **Agricultura orgânica: Quando o passado é futuro**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2479/1/BS%2015%20Agricultura%20orgância_P.pdf. Acesso em: 7mar.2019.

PEREIRA, G. A. P. et al. Cálcio dietético – estratégias para otimizar o consumo. **Revista Brasileira de Reumatologia**. v. 49, n. 2, p. 164 – 180, 2009.

SILVA JUNIOR, J. F. et al. **Sistemas de Produção – Sistemas de Produção de Banna para a Zona da Mata de Pernambuco**. Embrapa Tabuleiros Costeiros, Sergipe, p. 25 -29, 2010.

SKOOG, D. A. et al. **Fundamentos de Química Analítica**. CENAGE. 9a ed., São Paulo, 2018.

WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic Absorption Spectrometry**, Wiley-VCH, Alemanha, 3a ed., 1999.

ZENEBON, O.; PASCUET, N. S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Instituto Adolfo Lutz, 4o ed., São Paulo, 2008.

REMOÇÃO DE CAFEÍNA DE EFLUENTES ATRAVÉS DE LEITO DE MACRÓFITA DE FLUXO SUBSUPERFICIAL VERTICAL PLANTADO COM VETIVERIA ZIZANIOIDES

BRUNO JOUKOSKI JALOWSKI ¹

BERENICE DA SILVA JUNKES ²

TERESA BORRALHO³

ADELAIDE ALMEIDA⁴

RESUMO

Considerada o estimulante do sistema nervoso central mais consumido no mundo, a cafeína se mostra como uma ameaça a ecossistemas aquáticos, por ser descartada e indevidamente tratada, sendo então detectada em fontes de abastecimento. Este trabalho buscou avaliar a capacidade de remoção da cafeína através de fitorremediação, em um leito plantado com Vetiveria zizanioides (capim-vetiver) em agregados leves de argila expandida. O fluxo ao leito foi efetuado em modo vertical contínuo. Foi utilizada uma solução nutritiva de Hoagland, enriquecida com 8 ± 1 mg .L-1 de cafeína. Manteve-se o caudal afluente constante e carga hidráulica em 200 L.m-2.d-1. A eficiência de remoção de cafeína no leito, bem como a sua assimilação pelas folhas das plantas foi determinada através de HPLC-MS. Na biomassa vegetal foram determinados os teores de clorofila a, b, total e carotenoides. Obtiveram-se eficiências médias de remoção de cafeína de até 69 ± 2 %, tendo a V. zizanioides assimilado durante todo o processo de tratamento cerca de $20 \mu\text{g.g}^{-1}$ na folha. Verificou-se que a exposição da planta à cafeína causou uma diminuição no teor de clorofila a e b e total. Este estudo aponta para a possibilidade do uso da fitorremediação como uma tecnologia de baixo custo aplicável ao tratamento de águas residuais contaminadas com compostos emergentes.

Palavras-Chave: Carotenoides, Leitos Flutuantes, Assimilação Pelas Plantas, HPLC-MS.

INTRODUÇÃO

A cafeína (1,3,7-trimetilpurina-2,6,diona) é um alcaloide púrico e é considerada o estimulante do sistema nervoso central mais consumido ao redor do mundo (CHEN, 2017). Em cursos d'água, esta substância é considerada um sinalizador de contaminação (DANESHVAR et al., 2012), pois, junto de outros produtos farmacêuticos presentes no esgoto doméstico, ela é metabolizada e absorvida pelo organismo humano de modo parcial e é excretada nas fezes e na urina, tendo como destino o ambiente aquático. Esses compostos liberados em pequenas e contínuas concentrações podem causar mudanças e efeitos crônicos no ecossistema, de acordo com Daughton e A Ternes (1999).

¹ Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Aluno do Curso Técnico Integrado em Química, Campus Florianópolis / bruno.jalowski@gmail.com

² Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professora do Curso Técnico Integrado em Química, Campus Florianópolis / berenice@ifsc.edu.br

³ Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Professora do Departamento de Ciências e Tecnologias Aplicadas / mtcarvalhos@ipbeja.pt

⁴ Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), Professora do Departamento de Ciências e Tecnologias Aplicadas / maalmeida@ipbeja.pt

Em diversos estudos fora detectada a presença de cafeína em águas residuais sem tratamento, na ordem dos 16 mg.habitante⁻¹.dia⁻¹, com eficiências de remoção em estações de tratamento de esgoto convencionais de 60 % (BUERGE, 2003).

Em âmbito nacional, a cafeína é amplamente detectada em águas de mananciais e de abastecimento, tanto em fontes subterrâneas (SOUZA et al., 2016) quanto superficiais (GONÇALVES, 2008). Essa presença recorrente existe, pois, a passagem dos resíduos farmacêuticos por estações de tratamento não elimina completamente essas substâncias do efluente final, devido aos métodos atualmente aplicados não removerem eficientemente esse micropoluinte (JONES et al., 2005).

Dentre os diferentes métodos que permitem a remoção de cafeína de águas residuais destaca-se a fitorremediação, técnica que consiste na utilização de plantas para descontaminação de ambientes aquáticos e terrestres, removendo, degradando ou reduzindo a biodisponibilidade dos contaminantes. Quando esta tecnologia é aplicada no tratamento de águas residuais, é denominada “Wetlands construídos” também muitas vezes denominados leitos de macrófitas ou apenas leitos. Ela é provada como eficiente na remoção de diversos compostos orgânicos e inorgânicos, incluindo pesticidas, metais pesados e hidrocarbonetos poliaromáticos (RAI, 2009). Por Matamoros et al. (2009) foi constatada a possibilidade de remover cafeína em águas residuais com eficiência de 97 % a 99 %. Ademais, segundo Divensi, Lima e Souza (2010), apresenta custos de implementação e impactos ambientais muito inferiores aos dos métodos físico-químicos usuais, além de ser de fácil manipulação, ser capaz de atingir mais de um composto simultaneamente e poder ser utilizada para outros fins que não a biorremediação (MARTINS, 2004), como na fabricação de materiais de construção, artesanato e perfumes (UCKER E ALMEIDA, 2013).

Os leitos de macrófitas podem ser classificadas de acordo com vários parâmetros, mas os dois mais importantes são o tipo de vegetação dominante que os habita, (emergentes, flutuantes enraizadas ou não enraizadas, e submersas), ou em termos operativos, pela forma como o efluente as percorre (sistemas de fluxo superficial (FS) e fluxo subsuperficial (FSS) que poderá ser em movimento vertical ou horizontal) (KADLEC E WALLACE, 2008). Os leitos com escoamento em modo subsuperficial vertical, apresentam condições muito mais aeróbias que os outros tipos de leitos construídos, podendo assim ser utilizados tanto para remoção de matéria orgânica como para a nitrificação e outros processos aeróbios (VYMAZAL, 2003).

A macrófita utilizada no estudo foi a Vetiveria Zizanioides, selecionada principalmente pela sua grande resistência a variações de pH (de 3 e 10,5) e de temperatura (-10 e 60°C) do solo, e a concentrações elevadas de metais pesados (As, Cd, Pb, Hg, Ni, Se e Zn) (TRUONG E HART, 2001). Outras características que influenciaram a sua escolha foram seu modo de reprodução assexuado e seu sistema radicular comprido (THE WORLD BANK, 1993).

Este trabalho investigou a possibilidade de utilização de fitorremediação, usando leitos de escoamento vertical plantado com Vetiveria zizanioides para o tratamento de águas residuais contaminadas com concentrações de cafeína de 8 ± 1 mg .L⁻¹, valores próximos aos relatados por Buerge (2003). Como objetivo secundário, foi analisado o comportamento dessas mesmas plantas quando expostas às referidas soluções.

METODOLOGIA

Descrição dos leitos

Este estudo foi realizado em um leito de fluxo vertical em escala piloto, com dimensões de 0,24 m²×0,70 m, plantado com V. zizanioides em aglomerados leves de argila expandida (Leca® NR10/20), normalmente denominada matriz de suporte.

Regime de amostragem

O leito flutuante foi operado em modo de fluxo contínuo por três meses. O fluxo contínuo foi alcançado usando uma bomba Eheim-2400 (Deizisan, Alemanha) e foi estabelecido em 20 mL.min⁻¹ (carga hidráulica de cerca de 200 L.m⁻².d⁻¹), com saída situada na superfície do leito. Um tanque de armazenamento de 125 L foi utilizado como reservatório para a solução de Hoagland usada na irrigação. As amostras foram coletadas 2 vezes na semana (todas as terças e quintas-feiras pela manhã), por um período de 5 semanas (n= 10 amostras), de 15 de outubro a 5 de novembro de 2019. A amostragem foi efetuada na entrada e saída do leito e as amostras foram analisadas in situ para determinação de pH. Para a determinação de cafeína, as amostras foram conservadas a -20°C até a análise.

Solventes e reagentes

Cloreto de cálcio, dihidrogenofosfato de potássio, cloreto de amônio (Panreac, Alemanha), sulfato de potássio e cloreto de cobre (II) dihidratado (Scharlau, Espanha), cloreto de manganês (II) tetrahidratado (Sigma-Aldrich, Alemanha), sulfato de ferro (II) heptahidratado (VWR Chemicals, Bélgica), todos com grau de pureza 95 %; e cloreto de zinco de grau analítico (Riedel-de Haën, Alemanha) foram utilizados para a preparação da solução de Hoagland (água residual sintética). A cafeína utilizada, com grau de pureza superior a 99 %, fora obtida da Sigma Aldrich, Alemanha.

Acetonitrila e metanol, ambos com grau HPLC de pureza, foram obtidos de Carlo Erba, Espanha. Água ultrapura foi obtida de um sistema de purificação de água MilliQ.

Extração da cafeína dos tecidos das plantas

A cafeína foi extraída das plantas segundo o método de ruptura por areia do mar. A areia foi passada por uma peneira de 2 mm, lavada com água deionizada até que o líquido saísse límpido e, em seguida, lavada três vezes com metanol 99 %. Foram pesados 0,5 mg de amostra de plantas e, em duplicata, moídos com a areia em um almofariz, com adição de 2 mL de metanol. O conteúdo do almofariz foi transferido para uma seringa de 20 mL com 3 discos de papel filtro no fundo. Outro disco foi usado para cobrir o material e foi então comprimido pelo êmbolo da seringa. A seringa foi seca sob vácuo e então eluiu-se o material em seu interior 3 vezes com 10 mL de metanol. A solução extraída foi concentrada utilizando uma leve corrente de gás nitrogênio, até um volume de 40 µL, sendo assim diluída para um volume final de 10 mL. A amostra para análise foi filtrada com um filtro de acetato de celulose de 0,45 µm e inserida em um vial para posterior leitura em HPLC-MS (TEIXEIRA E COSTA, 2005; ZHANG et al., 2012).

Extração de clorofila a, b e carotenoides totais

Esta extração, e a conseguinte quantificação, seguiram o método de Lichtenthaler (1987), e utilizaram de duas fontes: uma planta sem adição de cafeína e outra proveniente do leito estudado. As folhas foram cortadas e congeladas a -80 °C, e destas pesou-se 25 mg, adicionando em seguida 0,1 mL de água. Após 10 min., 8 mL de etanol 96 % foram adicionados e o conjunto foi centrifugado em um homogeneizador de tecidos Precellys Evolution por 2 min. a 4500 rpm. As amostras foram mantidas na ausência de luz por 24 horas, envoltas em papel alumínio e armazenadas em um armário, e a análise espectrofotométrica então foi realizada em um Ultrospec 2100 pro em 4 faixas de absorção (470 nm, 649 nm, 664 nm e 750 nm).

Determinação de pH

Dez amostras da entrada e da saída de água do leito foram coletadas e o pH foi monitorizado com a utilização de uma sonda portátil multiparamétrica (HI9829 HANNA).

Análise cromatográfica

A análise HPLC-MS foi realizada em um cromatógrafo líquido de alta performance UltiMate 3000 HPLC series da Thermo Scientific (Thermo Scientific, EUA) com fonte de ionização eletrospray (ESI), com os softwares de controle “Chromeleon – Dionex” e “Thermo Scientific Xcalibur”. A quantificação da cafeína nas amostras de efluente e afluente do leito foi realizada por análise cromatográfica em modo isocrático, em uma coluna de fase reversa Hypertensil C18 de 160 x 4,6 mm, a 25 oC. A fase móvel consistia em uma mistura de acetonitrila:água ultrapura (40:60) acidificada com 0,1 % de ácido fórmico e com fluxo de 0,2 mL.min⁻¹. O preparo das amostras se deu pela filtração das mesmas em filtros de acetato de celulose de 0,45 µm, seguido de inserção em vials e alocação no amostrador. O volume de amostra utilizado foi selecionado de acordo com a reta de calibração preparada para o equipamento. Preparou-se uma solução mãe de cafeína a 200 mg .L⁻¹ através da dissolução de cafeína pura em uma mistura de acetonitrila:água (67:33). A partir desta, retirou-se alíquotas necessárias para a preparação da curva de calibração, com concentrações de 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 e 2,5 mg .L⁻¹.

Foi feita a leitura do teor de cafeína nas amostras e nos padrões com um detector UV-VIS na faixa de 273 nm, resultando em um tempo de retenção de 1,38 s. Tendo em vista que o tempo de retenção varia de acordo com as condições experimentais do HPLC, fez-se em seguida a detecção em MS, em polaridade positiva, e íon precursor de m/z=195. As condições operatórias aplicadas ao detector MS encontram-se na Tabela 1.]

Tabela 1: Condições operacionais do espectrômetro de massa (MS).

Nome	Valor	
Sweep gas Flow	0.01	
Voltagem do capilar (V)	39.93	
Temperatura do capilar (°C)	299.85	
Voltagem do Tube Lens (V)	54.53	
Vácuo:	Medidor de Íons (E-5 Ton)	1.76
	Medidor de Convecção (Torr)	1.36
Bomba Turbo:	Vida (horas)	28388
	Velocidade (Hz)	750
	Potência (Watts)	57
	Temperatura (°C)	37

Fonte: Dados da pesquisa.

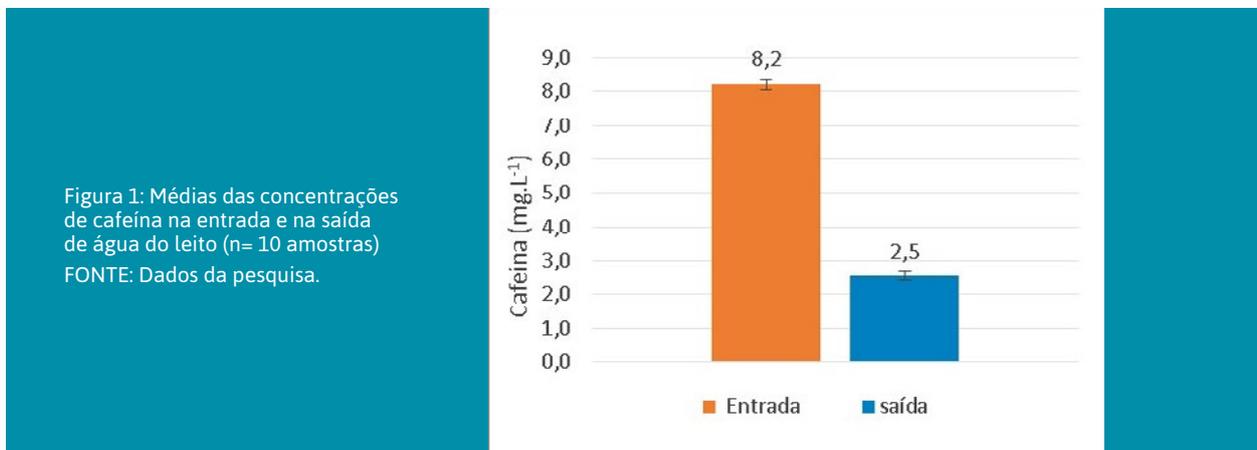
Tratamento dos resultados obtidos

Os resultados obtidos foram tratados estatisticamente no programa Statistica (versão 8) sendo utilizado em todos os testes um limiar de significância de 5%. A comparação das diferenças entre os valores de entrada e saída do leito, para os diversos parâmetros físico-químicos monitorizados, foi efetuada por análise de variância (ANOVA) a dois fatores, sendo as suas médias avaliadas posteriormente pelo teste de Tuckey. As eficiências de remoção foram analisadas por ANOVA a um fator e comparadas pelo teste de Tuckey.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Remoção da cafeína de águas residuais e assimilação pelas plantas

Os resultados obtidos relativos aos teores de cafeína na água residual sintética (afluente do leito), e posteriormente à sua passagem pelo leito plantado com *V. zizanioides*, indicaram que ocorreu remoção de cafeína no interior do leito (Figura 1).

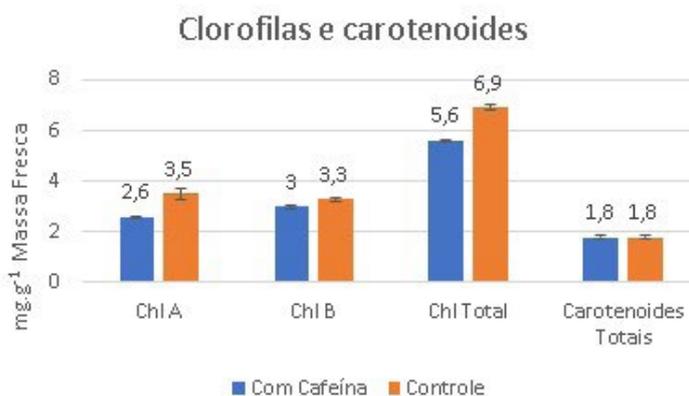


A eficiência média de remoção foi de $69 \pm 2 \%$, valor muito inferior aos encontrados por Hijosa-Valsero et al. (2010) e Matamoros et al. (2009), com médias que variaram de 95 % a 99 % para o mesmo estilo de leito. Alguma desta cafeína pode ter sido removida através da assimilação pela biomassa vegetal, nomeadamente as raízes e a parte aérea. No entanto, apenas se determinou a cafeína presente nas folhas das plantas e foi de $20 \mu\text{g.g}^{-1}$ de biomassa fresca. Este valor excedeu os relatados por Zhang et. al (2012), de 6,39 a $13,65 \mu\text{g.g}^{-1}$ de biomassa fresca, que utilizou concentrações de cafeína de 0,5 a 2,0 mg.L⁻¹. O valor quantificado representa apenas uma pequena fração quando comparada com a quantidade removida da água residual. Assim, além da assimilação pelas plantas, ocorreram outros mecanismos de remoção de cafeína, nomeadamente a assimilação pelos microrganismos presentes e a sua degradação aeróbia.

Clorofila e carotenoides

Medindo, em triplicata, os níveis de clorofila e carotenoides nas plantas, pode-se checar a existência de alterações em suas estruturas, assim como em suas capacidades de realização da fotossíntese. Essa medição visa à verificação de respostas tóxicas da planta à presença de cafeína no meio. Com os resultados, apresentados na Figura 2, pode-se constatar que a presença de cafeína na água do leito interferiu significativamente ($p < 0,05$) na quantidade de clorofila a (Chl a) e total (Chl total), assim indicando possíveis efeitos de toxicidade para as plantas, embora não tenha sido detectada nenhuma alteração morfológica através da observação efetuada durante a amostragem. Clorofila b (Chl b) e carotenoides, no entanto, não apresentaram suficiente alteração ($p > 0,05$).

Figura 2: Médias de clorofilas e carotenoides presentes na Vetiveria zizanioides (grupos amostrais de = 3 amostras). Leito sem cafeína (controle) representado pelas barras em laranja e leito com adição de cafeína representado pelas barras em azul.
FONTE: Dados da pesquisa.



pH da água

Os valores de pH se mantiveram constantes no decorrer do período de estudo, com o pH médio do afluente sendo $7,1 \pm 0,1$ e do efluente, $7,1 \pm 0,1$. Esses dados indicam que, com as quantidades de cafeína adicionadas, as reações químicas e biológicas que possam ter ocorrido não alteram significativamente os valores de pH ($p > 0,05$).

CONCLUSÃO

O presente trabalho constatou a possibilidade de utilizar fitorremediação com *V. zizanioides* para promover a remoção sustentável de cafeína em leitos contaminados. Foram obtidas elevadas eficiências de remoção e observou-se que nas folhas das plantas houve assimilação do poluente.

Foi identificada uma diminuição do teor em clorofilas a e totais devido à exposição das plantas à cafeína, embora não se tenha observado sinais de amarelamento nas folhas da *V. zizanioides*.

A fitorremediação pode ser uma resposta à remoção sustentável da cafeína presente em águas residuais. A *V. zizanioides* e a matriz de suporte mostraram ser adequadas ao sistema em estudo. Sugere-se que em estudos futuros, possam fornecer esclarecimentos dos mecanismos envolvidos no processo de remoção da cafeína empregando leitos de escoamento subsuperficial vertical.

BIBLIOGRAFIA

BUERGE, Ignaz J.; POIGER, Thomas; MÜLLER, Markus D.; BUSER, Hans-rudolf. Caffeine, an Anthropogenic Marker for Wastewater Contamination of Surface Waters. *Environmental Science & Technology*, [s.l.], v. 37, n. 4, p. 691-700, fev. 2003. American Chemical Society (ACS). <http://dx.doi.org/10.1021/es020125z>.

CHEN, Feng et al. Measurement of caffeine and its three primary metabolites in human plasma by HPLC-ESI-MS/MS and clinical application. *Biomedical Chromatography*, [s.l.], v. 31, n. 6, p.3900-3900, 4 jan. 2017. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/bmc.3900>. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5415443/>>. Acesso em: 11 nov. 2019.

DANESHVAR, Atlasi et al. Evaluating pharmaceuticals and caffeine as indicators of fecal contamination in drinking water sources of the Greater Montreal region. *Chemosphere*, [s.l.], v. 88, n. 1, p.131-139, jun. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.03.016>. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351200330X?via%3Dihub>>. Acesso em: 26 dez. 2019.

DAUGHTON, C G; A TERNES, T. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change?. *Environmental Health Perspectives*, [s.l.], v. 107, n. 6, p.907-938, dez. 1999. *Environmental Health Perspectives*. <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.99107s6907>. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1566206/>>. Acesso em: 3 jan. 2020.

DIVENSI, Helizabett Fernanda do; LIMA, Sônia Barbosa de; SOUZA, Débora Cristina de. Tratamento de efluentes contendo altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes utilizando macrófitas aquáticas. In: ENCONTRO DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA, 5., 2010, Campo Mourão. Anais do V Encontro de Produção Científica e Tecnológica. Campo Mourão: Fecilcam, 2010. Disponível em: http://www.fecilcam.br/nupem/anais_v_epct/PDF/engenharias/05_DIVENSI_LIMA_SOUZA.pdf. Acesso em: 7 jan. 2020.

GONÇALVES, Eline Simões. O uso da cafeína como indicador de contaminação por esgoto doméstico em águas superficiais. 2008. 90 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Teresópolis, 2008. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/handle/1/3603>>. Acesso em: 30 dez. 2019.

HIJOSA-VALSERO, María; MATAMOROS, Víctor; MARTÍN-VILLACORTA, Javier; BÉCARES, Eloy; BAYONA, Josep M.. Assessment of full-scale natural systems for the removal of PPCPs from wastewater in small communities. *Water Research*, [s.l.], v. 44, n. 5, p. 1429-1439, mar. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2009.10.032>.

JONES, O. A. H.; VOULVOULIS, N.; LESTER, J. N.. Human Pharmaceuticals in Wastewater Treatment Processes. *Critical Reviews In Environmental Science And Technology*, [s.l.], v. 35, n. 4, p.401-427, jul. 2005. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10643380590956966>. Disponível em: <http://www.geol.lsu.edu/blanford/NATORBF/14%20Pharmaceuticals%20and%20RBF/Jones%20et%20al_Crit%20Reviews%20Env._2005.pdf>. Acesso em: 26 dez. 2019.

KADLEC, Robert H.; WALLACE, Scott D.. *Treatment Wetlands*. 2. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2008. 965 p.

LICHTENTHALER, Hartmut K.. [34] Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods In Enzymology*, [s.l.], p.350-382, 1987. Elsevier. [http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).

MARTINS, Ana Paula Lang. Capacidade do *Polygonum hydropiperoides* e *Typha domingensis* na fitorremediação de efluentes de tanques de piscicultura na região da bacia do rio Iraí. 2004. 92 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/3459>>. Acesso em: 4 jan. 2020.

MATAMOROS, Víctor; ARIAS, Carlos; BRIX, Hans; BAYONA, Josep M.. Preliminary screening of small-scale domestic wastewater treatment systems for removal of pharmaceutical and personal care products. *Water Research*, [s.l.], v. 43, n. 1, p. 55-62, jan. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2008.10.005>.

RAI, Prabhat Kumar. Heavy Metal Phytoremediation from Aquatic Ecosystems with Special Reference to Macrophytes. *Critical Reviews In Environmental Science And Technology*, [s.l.], v. 39, n. 9, p.697-753, 31 ago. 2009. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/10643380801910058>. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10643380801910058>>. Acesso em: 3 jan. 2020.

SOUZA, L. F. C. B. et al. Cafeína em água de captação e tratada: um indicador químico de contaminação antrópica.. In: Congresso de Pesquisa em Saúde Animal e Humana, 1., 2016, Londrina. Anais do I COPESAH. Londrina: ISSN, 2016. p. 149-152. Disponível em: <https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/cafeina-em-amostras-de-agua-de-captacao-e-tratada-um-indicador-quimico-de-contaminacao-antropica/>. Acesso em: 29 dez. 2019.

TEIXEIRA, D. Martins; COSTA, C. Teixeira da. Novel methods to extract flavanones and xanthenes from the root bark of *Maclura pomifera*. *Journal Of Chromatography A*, [s.l.], v. 1062, n. 2, p.175-181, jan. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chroma.2004.11.053>.

THE WORLD BANK (United States). *Vetiver Grass: The Hedge against Erosion*. 4. ed. Washington, D.c, 1993. 48 p. Disponível em: http://www.vetiver.org/PUBLICATIONS/TVN_greenEng.pdf. Acesso em: 22 maio 2020.

TRUONG, Dr. Paul; HART, Barbara. Vetiver System for Wastewater Treatment. Queensland, 2001. 26 p. Disponível em: https://www.vetiver.org/PRVN_wastewater_bul.pdf. Acesso em: 22 maio 2020.

UCKER, Fernando Ernesto; ALMEIDA, Rogério de Araújo. UTILIZAÇÃO DO CAPIM VETIVER NA REMOÇÃO DE NUTRIENTES DO ESGOTO DOMÉSTICO. Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (gesta), Goiás, v. 1, n. 2, p. 267-275, 2013. Disponível em: <https://portalseer.ufba.br/index.php/gesta/article/download/8541/6424>. Acesso em: 20 abr. 2020.

VYMAZAL, J.. The Use of Aquatic Macrophytes for Wastewater Treatment in Constructed Wetlands. In: 1ST INTERNATIONAL SEMINAR ON THE USE OF AQUATIC MACROPHYTES FOR WASTEWATER TREATMENT IN CONSTRUCTED WETLANDS, 1., 2003, Lisboa. Proceedings of the 1st International seminar on the use of aquatic macrophytes for wastewater treatment in constructed wetlands. Lisboa: Icn e Inag, 2003. p. 35-69.

ZHANG, Dong Qing et al. Assessment of plant-driven uptake and translocation of clofibric acid by *Scirpus validus*. Environmental Science And Pollution Research, [s.l.], v. 20, n. 7, p.4612-4620, 30 dez. 2012. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-012-1375-1>.

DIREITO, Daniel Gaspar. **A Indústria da Cortiça e o seu Potencial de Inovação**. Do Porto: Isep, 2011. Disponível em: <http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/2869/1/DM_DanielDireito_2011_MEQ.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2017.

DOMINGUES, Valentina Maria Fernandes. **Utilização de um produto natural (cortiça) com adsorvente de pesticidas piretróides em águas**. 2005. Disponível em: <[https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12811/2/Texto integral.pdf](https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/12811/2/Texto%20integral.pdf)>. Acesso em: 15 abr. 2017.

GOMES, Juliana Patrício et al. **Regeneração de Carvão Ativado obtido da flor de abril (Dillenia Indica L.) utilizando NaOH**. PIC-QUIMI, Araquari, p. 01-15, 2017.

MARIN, Pricila et al. Avaliação do efeito da temperatura, pH e granulometria do adsorvente na adsorção do corante azul reativo 5G. **Engevista**, Paraná, v. 17, n. 1, p.59-68, mar. 2015.

MEZOMO, João Vítor et al. **Materiais adsorventes produzidos a partir do resíduo da erva-mate para a adsorção de azul de metileno**. Jaraguá do Sul, p.01-19, dez. 2017. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B_00FEKt0VuAZjNIQTUITFdDWWI5WDZzR2xOdKpZSEJOTS1V/view>. Acesso em: 19 jul. 2019.

MOURÃO, P. A. M.; CARROTT, P. J. M.; CARROTT, M. M. L. R. Cortiça: uma nova perspectiva. **SciELO**, Portugal, v. 1, n. 01, p.282-289, jan. /. Disponível em: <<http://www.scielo.mec.pt/pdf/rca/v30n1/v30n1a29.pdf>>. Acesso em: 07 jul. 2019.

NASCIMENTO, Ronaldo Ferreira do et al. Adsorção: **Aspectos Teóricos e Aplicações Ambientais**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 255 p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10267/1/2014_liv_rfdnascimento.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2017.

RESENDE, Sulamita Mendonça de. **Projeto e construção de um filtro destinado ao tratamento de efluentes de pequenas tinturarias utilizando materiais de baixo custo**. 2013. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologias Para O Desenvolvimento Sustentável, Universidade Federal de São João Del-rei, Ouro Branco, 2013. Disponível em: <<https://www.ufsj.edu.br/portal2-repositorio/File/ppgtds/DISSERTACOES/Sulamita.pdf>>. Acesso em: 19 jul. 2019.

YOKOYAMA, L. et al. **Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H2O2/UV**. Química Nova, v. 29, n. 1, p. 11-14, 2006.

ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA E SEBO BOVINO: MATÉRIAS-PRIMAS ALTERNATIVAS À PRODUÇÃO DE BIODIESEL

SÂMILLA GABRIELLA COELHO DE ALMEIDA¹

VERÔNICA TÁVILLA FERREIRA SILVA²

CAROLINA PORTO PRADOS³

CRISTINA ALVES MARTINS OLIVEIRA⁴

RESUMO

A crescente preocupação com as mudanças climáticas decorrentes das emissões dos gases do efeito estufa, causados em parte pelos combustíveis de origem fóssil, vem levando a uma maior busca na otimização da produção de biodiesel utilizando matérias-primas renováveis, pois essa tem se mostrado uma alternativa sustentável e socioeconomicamente atrativa à substituição do diesel em longo prazo. As matérias-primas mais utilizadas para a produção do biodiesel no Brasil são o óleo de soja, seguido pelo uso do sebo bovino e óleos residuais de frituras. Os métodos empregados para a obtenção do biodiesel a partir destes materiais são: a transesterificação, o craqueamento e a microemulsão, que utilizam em suas reações excesso de álcool metílico ou etílico e um catalisador que pode ser de caráter básico ou ácido, e a depender do processo, também se utiliza do catalisador enzimático. A metodologia mais utilizada faz uso da transesterificação empregando catalizadores básicos.

Palavras-chave: Biodiesel, Óleos residuais, Sebo bovino.

INTRODUÇÃO

A utilização de derivados do petróleo como principal fonte energética data de muito tempo e eles são vistos atualmente como principais causadores do efeito estufa. Além dos problemas iminentes ligados às causas ambientais, há também a preocupação de que este recurso não renovável venha a se esgotar em um período não muito distante (DBEREINER; BALDANI, 1998).

O diesel é um combustível fóssil obtido pela destilação do petróleo, o qual foi acumulado no subsolo por milhares de anos, tendo como constituição básica uma mistura de hidrocarbonetos. Além dos constituintes átomos de carbono e hidrogênio, o diesel conta com a presença de enxofre e nitrogênio em sua estrutura (PETROBRÁS, 2015).

Com o aumento populacional e os transportes rodoviários servindo como principal via para escoamento de produção, a redução do consumo de diesel é vista como algo distante, sendo mais viável a busca por fontes renováveis. Devido a esse caráter nocivo dos derivados do petróleo, o campo científico tem voltado suas pesquisas para as fontes energéticas menos poluentes e economicamente viáveis, assim chamados de combustíveis biológicos ou bioenergéticos (DÖBEREINER; BALDANI, 1998).

O “biodiesel é um substituto natural do diesel de petróleo e pode ser produzido a partir de fontes renováveis como óleos vegetais, gorduras animais e óleos utilizados para cocção de alimentos”

1 Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus Araraquara - SP (gabics@mail.uft.edu.br)

2 Universidade de São Paulo (USP), Campus Lorena - SP (veronicatavilla@gmail.com)

3 Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Gurupi - TO (carolinapra-dos@mail.uft.edu.br)

4 Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus Gurupi - TO (biocris@mail.uft.edu.br)

(RAMOS, 2003).

O Brasil mostra grande potencial para a produção de biodiesel, além de uma rica diversidade de matérias-primas, contando com tecnologia genuinamente brasileira. Historicamente, a primeira patente mundial registrada de um processo de produção industrial de biodiesel (transesterificação) foi concedida ao engenheiro químico cearense Exedito Parente, em 1977 (FERNANDES, 2008).

Uma das características que fazem com que o biodiesel seja considerado um combustível ecológico é o seu caráter não tóxico, além de ser isento de enxofre e aromáticos, resultando assim em emissões de melhor qualidade no que se refere ao processo de combustão (FERNANDES et al., 2008).

Apesar de o biodiesel ter uma quantidade de energia inferior ao diesel de petróleo, em torno de 10%, seu desempenho é similar ao que diz respeito à potência e ao torque, tendo ainda como diferencial maior lubrificidade, atribuída a sua viscosidade (SILVA et al 2010). O Brasil conta atualmente com 58 usinas destinadas à produção de biodiesel, regulamentadas pela ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). A capacidade nominal de armazenamento do Brasil no ano de 2017 foi de 175.038,05 m³ de biodiesel (BIODIESELBR, 2019; ANP, 2014).

Dentre as matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel, podem ser incluídos quaisquer óleos vegetais (desde os refinados aos crus), gordura animal, como sebo bovino, e óleo residual de fritura, sendo o óleo de soja o mais utilizado no Brasil. No entanto, há o empasse entre o uso de terras agricultáveis voltadas para a produção de soja (obtenção do biodiesel) e aquelas destinadas à produção de alimentos, desencadeando assim uma competição entre estes setores, o que acaba por levantar o questionamento de até quando essa produção é sustentável (DABDOUB, 2009).

A substituição parcial de derivados de petróleo é algo que vem sendo cada vez mais explorada, tanto no campo de energia (combustíveis sólidos e líquidos), quanto na produção de precursores químicos que têm origem comumente a partir de derivados fósseis. O Brasil tem avançado neste sentido devido a sua elevada produção de commodities, e dentro destas cadeias produtivas, ocorre a geração de resíduos que podem ser utilizados para produção de biocombustíveis. Além de agregar valor a um material que inicialmente é tratado como um resíduo, é uma solução viável por permitir um destino correto para esses materiais (GRANGEIRO et al., 2019).

Dada a ampla disponibilidade de óleos vegetais e sebos animais residuais, a tecnologia de produção de biodiesel utilizando estas matérias-primas representa um grande potencial de incrementação energética no Brasil. Este artigo apresenta uma visão geral da produção de biodiesel no Brasil a partir de óleo residual de fritura e sebo bovino, fazendo um compilado das informações críticas para um melhor entendimento do potencial energético deste setor.

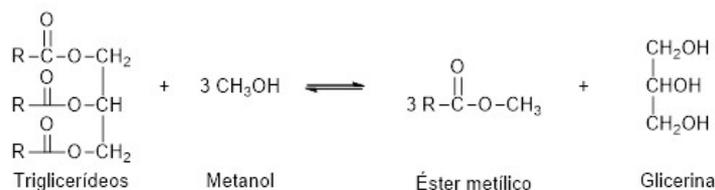
METODOLOGIA

No intuito de explanar sobre a temática biodiesel de uma forma geral e do uso alternativo de matérias-primas renováveis, a metodologia deste artigo se divide nos temas: a) Obtenção do biodiesel por transesterificação; b) Uso de óleo residual na produção de biodiesel; c) Uso do sebo bovino na produção do biodiesel.

OBTENÇÃO DO BIODIESEL POR TRANSESTERIFICAÇÃO

O processo de transesterificação para a produção de biodiesel consiste na reação entre triglicerídeos com um álcool (metanol ou etanol), na presença de um catalisador de natureza ácida, básica ou enzimática (DABDOUB, 2009). Esse processo resultará na substituição do grupo éster do glicerol pelo grupo etanol ou metanol, o que resultará na produção de glicerina e em mono-alquil ésteres, o biodiesel (Figura 1). Quando empregado em escala industrial, o catalisador mais utilizado é o alcalino, devido a suas características favoráveis de operação, tais como baixo custo, fácil instalação e uma elevada taxa de reação (MENESES et al., 2012).

Figura 1: Reação de transesterificação de triacilgliceróis (triglicerídeos)
 FONTE: Elaboração própria



Independente do catalisador utilizado, a reação de transesterificação corresponde a uma reação reversível, onde sua cinética obedece à lei de Lê Chatelier (NETTO; DRUCIAKI, 2014). Portanto, o rendimento final dependerá do deslocamento do equilíbrio químico para a formação do produto mono-álquil estéres (MENESES et al.,2012). Condições para otimizar este rendimento vêm sendo utilizadas, como temperatura de reação, concentração e caráter do catalisador, bem como o excesso do agente de transesterificação (álcool), de modo a deslocar o equilíbrio da reação para a formação dos produtos, pois além de aumentar o rendimento de ésteres ajudará na separação da glicerina livre que será formada ao término da reação (MARQUES et al., 2011).

Rendimentos em torno de 100% são inexequíveis em uma única etapa de reação, pois além de caráter reversível, há a ocorrência de reações secundárias como a saponificação, formação de sabão (MENESES et al.,2012). Por isso, uma segunda reação sequencial é executada a fim de limitar a presença de triacilgliceróis não reagidos e os limites tolerados pela ANP. Essa segunda etapa garante taxas de conversão superiores a 98% (MARQUES et al., 2011).

Após o processo reacional, o biodiesel é separado dos demais produtos por decantação (sabões, sais, metanol, glicerina livre e catalisador remanescente); no entanto, para um grau de pureza adequado é realizada uma etapa de lavagem aquosa para a remoção dos resíduos que perdurem (MENESES et al.,2012).

Dentre os entraves existentes para a produção de biodiesel está sua pobre propriedade anti-oxidante. Isso se deve ao seu elevado nível de insaturações entre os átomos de carbono pelas suas longas cadeias, tornando, assim, o biodiesel propenso a ser oxidado e a produzir resíduos como o glicerol (LUO et al., 2012).

A oxidação do biodiesel trata-se da reação do oxigênio atmosférico com as duplas ligações dos ésteres, sendo visto assim como um processo complexo, o qual ocorre devido ao contato direto do óleo com o ar (JÚNIOR et al., 2011).

O biodiesel apresenta-se susceptível ao processo de oxidação, fato este que pode comprometer a sua armazenagem e utilização. No entanto, pesquisas vêm sendo desenvolvidas, como por exemplo, o emprego de aditivos antioxidantes que melhoram a conservação do biodiesel (DIB, 2010).

Uso de óleo residual na produção de biodiesel

Países como a China, Índia e alguns da África têm incentivado o fomento para matérias-primas não concorrentes com produtos alimentícios, como é o caso do pinhão manso e o óleo residual de fritura (FERREIRA; PASSADOR, 2014).

O custo da matéria-prima acarreta em cerca de 80-85% do preço do biodiesel; assim, o óleo residual de fritura mostra-se como uma matéria-prima em potencial (LEVY, 2011). As características do biodiesel vão depender da matéria-prima que for utilizada, devido à composição variável dos ácidos graxos presentes, resultando em diferentes propriedades físico-químicas do produto final (MAZIVILA et al., 2015).

Atualmente, o número de estabelecimentos do âmbito alimentício encontra-se crescente, alavancando as pesquisas em torno da utilização do óleo residual de fritura para a produção de biodiesel. Esse óleo, portanto, mostra-se uma matéria-prima viável, pois seu descarte incorreto no meio ambiente é de caráter nocivo, o qual culmina na poluição do solo e posteriormente dos lençóis

freáticos, além de causar a formação de uma espécie de “borra” nos sistemas de esgotos (NETTO; DRUCIAKI, 2014).

Uso do sebo bovino na produção de biodiesel

Além do óleo de soja e do óleo residual da fritura de alimentos, outra matéria-prima que se mostra promissora no que diz respeito à viabilidade e sustentabilidade socioeconômica é o sebo bovino, o qual tem como composição principal os ácidos graxos palmítico (numa percentagem de 20-37%), o esteárico (25 a 40%) e o oleico (até 50%). A principal destinação para este material, que é um resíduo de frigoríficos, é a utilização na suplementação de ração animal e também na fabricação de sabões. Porém, grande parte deste resíduo é desperdiçado, não tendo outra utilização, o que acaba por conferir um baixo preço de mercado a este material, tornando-o uma atraente matéria-prima, principalmente pela sua disponibilidade, já que o Brasil é o maior produtor de carne bovina do mundo (CORRÊA et al., 2011; MILLI et al., 2011).

A gordura bovina, ao ser destinada à rede de esgoto, ocasiona problemas como a formação de películas de gordura, impedindo a penetração de luz e oxigênio nas águas residuais a serem tratadas, o que acaba por impossibilitar a degradação da matéria orgânica ali presente, e também entupimentos. Ou seja, o uso deste resíduo como matéria-prima renovável abre portas para a produção de combustíveis com menores emissões de gases do efeito estufa (GEE), contribuindo, assim, com a diminuição da poluição atmosférica, e dando outra destinação à este resíduo que não seu descarte inadequado, o qual, por sua vez, pode acarretar na contaminação de fontes hídricas e do solo (TEXEIRA, 2010; MILLI et al., 2011).

Alguns impasses a serem superados no uso da gordura animal para a produção de biodiesel de qualidade são: solidificação em baixas temperaturas, que inviabiliza a utilização deste em baixas temperaturas decorrente de sua viscosidade cinemática, e também do ponto de fluidez de filtro a frio de 19°C; a necessidade de padronização da qualidade do sebo entregue aos produtores de biodiesel, que pode estar relacionada ao processo de obtenção do sebo pelas graxarias, e devido também à forma como ele é transportado até o local de processamento; e a imprecisão de que essa matéria-prima seja capaz de suprir a grande demanda da cadeia produtiva do biodiesel, fator esse que mais impacta o uso da gordura animal como fonte viável (BARCELLOS; PERREIRA, 2014).

As alternativas para suplantar esses entraves no uso da gordura animal são: a) a adição do biodiesel de soja ou diesel mineral ao biodiesel de sebo, corrigindo e prevenindo a ocorrência de congelamento a baixas temperaturas; b) a criação de regulamentações para a padronização da extração e transporte do sebo bovino até as usinas de processamento, diminuindo fatores que podem aumentar sua perecibilidade; e c) como alternativa à incerteza da capacidade do sebo bovino de suprir a cadeia produtora de biodiesel, tem-se como via paralela o uso do óleo de soja e também o óleo residual de frituras (MARTINS, 2011; MILLI et al., 2011).

No que diz respeito à sustentabilidade dessa cadeia de produção, a gordura bovina não é capaz sozinha de suprir a demanda do biodiesel, mas juntamente com as outras formas renováveis de produção se mostra promissora, principalmente pelo fato de utilizar resíduos, propagando a ideia do reuso de matérias que antes eram descartadas (MILLI et al., 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A substituição completa do óleo diesel de origem fóssil por combustíveis produzidos a partir de fontes renováveis ainda não é praticável, não só devido à incapacidade desse setor de suprir a demanda do mercado, como também aos desafios que este enfrenta referentes à qualidade do biocombustível, da padronização de suas características físico-químicas, dentre outros aspectos de cunho econômico. Mas as perspectivas futuras, bem como as iniciativas atuais, buscam a melhoria nas

cadeias produtivas desses biocombustíveis, e uma possível associação entre a produção desse por vias diferentes, seja utilizando o óleo de soja, a gordura animal ou óleos residuais provenientes de frituras, vem se mostrando uma estratégia atraente.

As pesquisas neste âmbito têm muito que avançar, não só na busca de matérias-primas renováveis, mas também no uso de resíduos que quase sempre nas indústrias tem descarte incorreto. Uma amostra do interesse de mudança na matriz energética no Brasil foi o decreto do B5, que torna obrigatório a adição de 5% de biodiesel no diesel de origem fóssil, e a meta para os próximos anos tende a aumentar este índice, com perspectiva de um B10 até o ano de 2020.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP. **Boletim**

Eletrônico N° 77 de Fevereiro, 2014. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/?pg=70201&m=&t1=&t2=&t3=&t4=&ar=&ps=&cachebust=1396957069590>. Acesso em: 23 julho 2015.

BIODIESELBR – **Referência Mundial sobre biodiesel** – As usinas de biodiesel do Brasil. Disponível em:

https://www.biodieselbr.com/usinas_brasil. Acesso em: 23 de setembro de 2019.

BARCELLOS, L. S.; PEREIRA, R. G. Análise da competitividade da cadeia Produtiva do biodiesel: o caso do sebo Bovino. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCÉLENCIA EM GESTÃO, 10, 2014, Niterói-RJ. **Anais ...** Niterói, 2008.

CORRÊA, I. M.; MAZIERO, J. V. G.; STORINO, M. Mistura de biodiesel de sebo bovino em motor diesel durante 600 horas. **Ciência Rural**, 6 p., 2011.

DABDOUB, M. J.; BRONZEL, J. L.; RAMPIN, M. A. Biodiesel: visão crítica do status atual e perspectivas na academia e na indústria. **Química Nova**. v. 32, n. 3, 2009.

DIB, F. H. **Produção de biodiesel a partir de óleo residual reciclado e realização de testes comparativos com outros tipos de biodiesel e proporções de mistura em um moto-gerador.**

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Ilha Solteira, SP, 2010.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D. Novas tecnologias biocombustíveis: a utilização de combustíveis biológicos ou bioenergéticos. **Biotecnologia, Ciencia & Desenvolvimento**, Brasília, v. 1, n. 4, p. 16-17, 1998.

FERNANDES, R. K. M et al; Biodiesel a partir de óleo residual de fritura: alternativa energética e desenvolvimento sócio-ambiental. In: XXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Rio de Janeiro, 2008. **Anais ...** Rio de Janeiro, 2008.

FERREIRA, V.R.S; PASSADOR, C.S. O Cenário Sobre Biocombustíveis, Políticas Públicas e Sustentabilidade na Produção Científica Nacional e Internacional: a Internacionalização das Pesquisas do Brasil. In: XXXVIII ENCONTRO DA ANPAD, Rio de Janeiro, 2014. **Anais ...** Rio de Janeiro, 2014.

GRANGEIRO, L. C. et al. New trends in biogas production and utilization. In: RAI, M.; INGLE, A. P. (Eds.). **Sustainable Bioenergy: Advances and Impacts**. 1. ed. Amsterdã: Elsevier, 2019. p. 199–223.

JÚNIOR et al. Acidez em óleos e gorduras vegetais utilizados na fritura. **Anais do III ENDICT** – Encontro de Divulgação Científica e Tecnológica. Toledo – PR, 2011.

LEVY, G. **A inserção de sebo bovino na indústria brasileira do biodiesel**: análise sob a ótica da Economia dos Custos de Transação e da Teoria dos Custos de Mensuração. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

LUO, M. et al. Impact of some natural derivatives on the oxidative stability of soybean oilbased biodiesel. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. v. 23, n. 2, 2012.

MARQUES et al. Metodologia analítica para glicerol em biodiesel: cenário atual. **Cad. Pesq., São Luís**, v. 18, n. especial, 2011.

MARTINS, R.; NACHILUK, K.; BUENO, C. R. F.; FREITAS, S. M. O biodiesel de sebo bovino no Brasil. **Informações Econômicas**, SP, v. 41, n. 5, maio 2011.

MAZIVILA, S.J.; Fast Classification of different oils and routes used in biodiesel production using mid infrared spectroscopy and PLS2-DA. **Journal of the Brazilian Chemical Society**. v. 26, n. 4, 2015.

MENESES et al. Tratamento do efluente do biodiesel utilizando a eletrocoagulação/flotação: Investigação dos parâmetros operacionais. **Química Nova**. v. 35, n. 2, 2012.

MILLI, B. B.; GRIPA, D. C.; SIMONELLI, G.; MARTINS, M. O. D. Produção de biodiesel a partir da mistura de sebo bovino com óleo vegetal. **Enciclopédia biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.7, n.12, 2011.

NETTO, F.F; DRUCIANKI, F. P. As perspectivas sócio-ambientais e econômicas da produção de biodiesel utilizando óleo de fritura residual. **Capital Científico**. v. 12, n. 2, 2014.

PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S.A. Disponível em: <www.petrobras.com.br>. Acesso em 23 de julho de 2015.

RAMOS, L. P.; KUČEK, C.; DOMINGOS, A. K.; WILHELM, H. M. Biodiesel: um projeto de sustentabilidade econômica e sócio-ambiental para o Brasil. Brasília: **Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento**, v. 3, p. 28-37, 2003.

SHAY, E. G. et al. Diesel fuel from vegetable oils: status and opportunities. **Biomass and Bioenergy**, v. 4, p. 227-242, 1993.

SILVA, E. P., et al. Determinação do índice de acidez em óleo de milho para produção de biodiesel. In: **V Congresso Norte-Nordeste de Pesquisa e Inovação**, 2010.

TEIXEIRA, G. A. A. **Avaliação do tempo de vida útil de biodiesel metílico obtido a partir da mistura de sebo bovino e óleos de soja e babaçu**. Tese (Doutorado), Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências Exatas e da Natureza. Departamento de Química-Programa de Pós-Graduação em Química, João Pessoa, PB, 2010.

LEVANTAMENTO DE AVIFAUNA NO IFSC CÂMPUS FLORIANÓPOLIS, SC

JÉSSICA VILVERT KLÖPPEL¹

LUISE MARIA REGIS POESCHMANN²

WANUSSA BAJORINAS³

FLÁVIA NAU TRAMONTE⁴

DÉBORA MONTEIRO BRENTANO⁵

RESUMO

Nos centros urbanos, áreas verdes como o IFSC Câmpus Florianópolis podem servir de abrigo às aves. Conhecer a composição da avifauna em espaços como este requer a condução de um levantamento em campo. Ainda que se espere expressiva avifauna sinantrópica, este ambiente pode constituir área de vida de espécies silvestres para descanso ou conexão entre deslocamentos, por exemplo. Neste trabalho, objetivou-se conhecer a riqueza e abundância das espécies de avifauna no IFSC Câmpus Florianópolis. Foram estudadas três subáreas utilizando como método o avistamento. Totalizaram-se nove campanhas de coleta e 14 horas de observação. Verificou-se uma riqueza de 28 espécies, abundância total de 1336 espécimes e sete espécies abundantes na área total estudada, incluindo exóticas e aves frequentes em áreas de mata. As espécies abundantes na subárea A1 foram *Furnarius rufus*, *Coereba flaveola* e *Passer domesticus*; na subárea A2, *Columba livia* e na subárea A3, *Sporophila caerulea* e *Estrilda astrild*. As espécies *Sicalis flaveola* e *Columbina talpacoti* foram abundantes nas três subáreas. As ocorrências de espécies abundantes correlacionaram-se com as características de cada subárea. Ainda que a área do IFSC Câmpus Florianópolis não tenha sido planejada para atrair avifauna, observa-se que ela desempenha um papel importante na ecologia urbana da região. Com planejamento, há potencial de ampliar a função do Câmpus como habitat para as aves da região.

Palavras-Chave: Avistamento, Avifauna, Ecologia Urbana.

INTRODUÇÃO

As mudanças ambientais geralmente causam efeitos na densidade populacional, abundância e distribuição das aves (TEMPLE; WIENS, 1989). À medida em que *habitats* naturais são substituídos por ambientes urbanizados, a configuração na composição de espécies daquele ambiente também é alterada e são favorecidas as espécies mais adaptadas ao ambiente urbano, promovendo a homogeneização biótica (McKINNEY, 2006). Estas áreas urbanas podem representar *habitats* efêmeros ou permanentes para algumas espécies, servir como corredores para a passagem de animais ou funcionar como locais de descanso para espécies migratórias (PABLO-CEA; FUNES; CHINCHILLA-RODRIGUEZ, 2019).

Para conhecer a avifauna de determinado local, o levantamento em campo (*in situ*) se faz necessário e permite uma primeira exploração da biota. O monitoramento da biodiversidade realizado a partir destes levantamentos fornece a base de informações biológicas necessária para subsidiar a gestão e a proposição de medidas adequadas para a conservação dos ambientes monitorados (NOBRE et al., 2014). Adicionalmente, o estudo aplicado às aves pode identificar diversos problemas ambientais, como

1 Técnica em Meio Ambiente (IFSC) e Graduada em Ciências Biológicas (UFSC), jessica.vilvert@ifsc.br

2 Técnica em Meio Ambiente (IFSC) e Graduada em Engenharia Sanitária e Ambiental (UFSC), poeschmann.luise@gmail.com

3 Gestora Ambiental (UNIASSSELVI) e Técnica em Meio Ambiente (IFSC), wanussab@gmail.com

4 Bióloga (Unifacvest), Esp. em Educação Ambiental (IFSC) e Técnica em Meio Ambiente (IFSC), flavianautramonte@gmail.com

5 Bióloga (UNISC), MSc. em Eng. Ambiental (UFSC), Dra. em Ecologia (UFSC) e Professora do IFSC, Câmpus Florianópolis, brentano@ifsc.edu.br

desequilíbrios nos ecossistemas, contaminação das águas e mudanças climáticas (SCOPEL et al., 2017).

A avifauna está presente em maior quantidade nos ambientes onde há arborização e ambientes naturais (PEREIRA et al., 2009). Situado em uma área urbanizada, o Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) Câmpus Florianópolis representa uma pequena área verde, com predominância de vegetação exótica com estrato arbóreo, como árvores frutíferas, e vegetação herbácea e arbustiva em menor proporção (OLIVEIRA; BRENTANO, 2010), possibilitando o desenvolvimento de diversas espécies de aves, visto que permite a ocorrência de nidificação, repouso ou alimentação destas espécies. Objetivou-se conhecer a comunidade de aves que habita o IFSC Câmpus Florianópolis e obter dados qualitativos e quantitativos desta comunidade, como riqueza, abundância total e relativa e ocorrência de espécies abundantes na área total e nas três subáreas estudadas.

METODOLOGIA

As atividades de monitoramento foram realizadas no IFSC Câmpus Florianópolis, localizado no Centro do município de Florianópolis (27°35'38.15"S, 48°32'30.85"W), com uma área total aproximada de 49643m², próxima ao Parque Natural Municipal do Morro da Cruz (Fig. 1), que apresenta uma Floresta Ombrófila Densa, um significativo remanescente de Mata Atlântica de aproximadamente 1304572 m² (FLORIANÓPOLIS, 2019). A área verde do Câmpus tem predominância de vegetação exótica com estrato arbóreo e vegetação herbácea e arbustiva em menor proporção (OLIVEIRA; BRENTANO, 2010).

O levantamento da avifauna foi realizado pelos alunos do Curso Técnico em Meio Ambiente e ocorreu em dois períodos: de 28 de fevereiro a 11 de abril de 2018; e de 14 de fevereiro a 15 de março de 2019, totalizando 14 horas de observação, em nove campanhas de coleta, realizadas no período matutino.

Utilizou-se o avistamento, um método de monitoramento in situ, que consiste na observação direta e mensuração, sendo uma pesquisa de levantamento de dados (NOBRE et al., 2014). A observação foi feita em três subáreas, denominadas A1, A2 e A3 (Fig. 1), levantando-se a hipótese de que a diferença na qualidade da vegetação (espécies e estrato) presentes nas áreas poderia influenciar na distribuição e abundância das aves. Os nomes científicos das espécies vegetais relacionadas na caracterização das subáreas estudadas foram padronizados de acordo com o site do Registro Nacional de Cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2020)



As subáreas (Fig. 1) possuem as seguintes características:

- A1 (2765 m²): A mais próxima da Avenida Mauro Ramos, uma das vias principais da região central de Florianópolis. Nesta subárea encontra-se a Praça dos Estudantes e parte do estacionamento do Câmpus, apresentando grande circulação de veículos e pessoas. Esta subárea caracteriza-se pela presença de espécies arbóreas nativas, como *Inga uruguensis* (Ingá), *Schinus terebinthifolius* (Aroeira-vermelha) e *Tabebuia spp.* (Ipê); e exóticas, como: *Terminalia catappa* (Amendoeira), *Syzygium cumini* (Jambolão), além de arbustivas exóticas como *Malvaviscus arboreus* (Hibisco-Colibri) e *Rhododendron simsii* (Azaleia-branca).

- A2 (8454 m²): Subárea central do Câmpus, onde também há grande circulação de pessoas visto que está localizada próxima à cantina e a quadra de esportes. Contempla o canteiro de obras, espaço utilizado para realização de aulas práticas. Há uma residência contígua à esta subárea com bebedouro para beija-flor e bandeja com sementes para aves. Entre as espécies arbóreas presentes nesta subárea estão as exóticas *Morus sp.* (Amoreira) e *Annona squamosa* (Fruta-do-conde).

- A3 (8599 m²): É a subárea mais distante do fluxo de veículos e com menor circulação de pessoas e também a mais próxima do Maciço do Morro da Cruz. Esta subárea apresenta vegetação com estrato arbóreo, como as espécies nativas *Psidium guajava* (Goiabeira), *Eugenia uniflora* (Pitanga), *Schinus terebinthifolius* (Aroeira-vermelha), *Cecropia pachystachya* (Embaúba); e as exóticas como *Ligustrum lucidum* (Ligustro). Também há presença de vegetação herbácea e arbustiva em menor proporção, com destaque para a espécie exótica *Brachiaria sp.*. Nesta subárea está a composteira do Câmpus e a horta, com presença de exemplares da família *Musaceae* (Bananeira) e *Caricaceae* (Mamoeiro). Além da vegetação, há espaço com área construída de dois ginásios, onde frequentemente são realizadas aulas desportivas e atividades de assistência à comunidade.

Para o avistamento e registros foram utilizados binóculo, câmera fotográfica e aparelhos smartphones. Os registros fotográficos foram utilizados para posterior comparação das imagens com a literatura a fim de confirmar e identificar as espécies de aves avistadas. Na identificação utilizou-se o livro *Aves Brasileiras e Plantas que as atraem*, dos autores Frisch e Frisch (2005) e o navegador de busca na internet, o WikiAves (WIKIAVES, 2020). Para a padronização dos nomes populares e científicos considerou-se a Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (PIACENTINI, 2015).

O levantamento de dados permitiu obter a riqueza, abundância total e abundância relativa das espécies avistadas, bem como verificar a ocorrência de espécies abundantes e dominantes na área total do Câmpus e nas três subáreas estudadas. Espécies abundantes são aquelas cuja ocorrência numérica supera o valor médio do número total de indivíduos das espécies numa amostra (Eq. 1) e espécies dominantes, cuja ocorrência numérica supera 50% do número total de indivíduos das espécies numa amostra (Eq. 2) (LOBO; LEIGHTON, 1986).

$$X \text{ (valor médio)} = \frac{\text{Abundância Total (nº total ind.)}}{\text{Riqueza (nº sp)}} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$0,5 \times \text{Abundância Total (nº total ind.)} \quad (\text{Eq. 2})$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

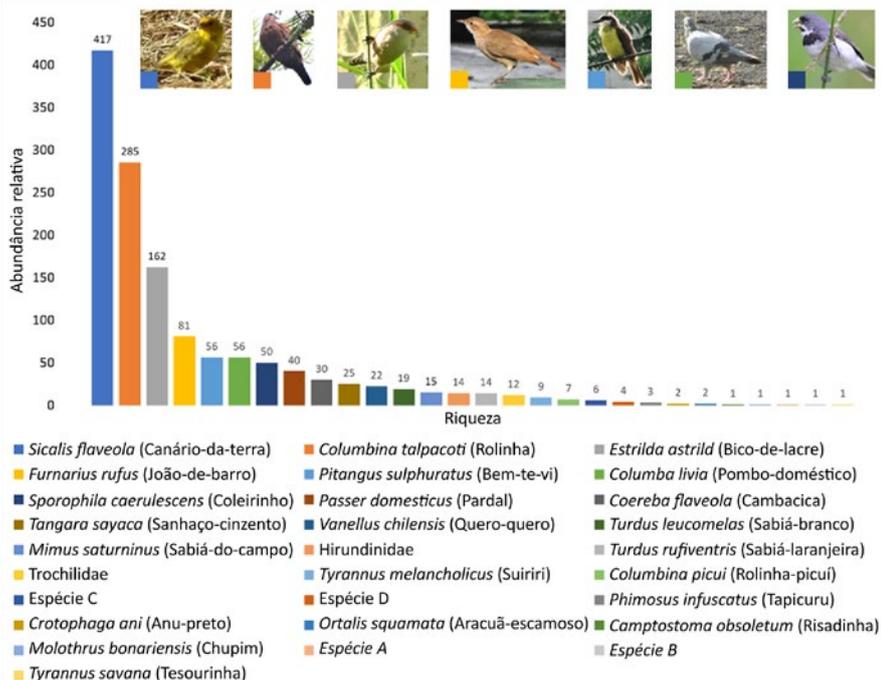
Considerando-se a área total estudada, foram registradas 28 espécies, sendo 24 espécies identificadas, distribuídas em 15 famílias e sete ordens e quatro espécies não identificadas, com abundância total de 1336 espécimes. A riqueza, abundância relativa e espécies abundantes na área total estão representadas pela Figura 2.

Figura 2: Riqueza e abundância relativa das espécies de aves e registro fotográfico das espécies abundantes na área total estudada no IFSC Câmpus Florianópolis.

FONTE: Dados desta pesquisa.

*Legenda do gráfico em ordem decrescente de abundância relativa da esquerda para a direita.

** Imagens dos autores; exceto do espécime de *Sporophila caerulescens* (KACHIMARECK, 2015).



Foram verificadas sete espécies abundantes, sendo bico-de-lacre (*Estrilda astrild*) e pombo-doméstico (*Columba livia*) consideradas espécies exóticas. Figuram na lista de espécies abundantes tanto espécies adaptadas às condições urbanas, como rolinha (*Columbina talpacoti*), joão-de-barro (*Furnarius rufus*), bem-te-vi (*Pitangus sulphuratus*) e canário-da-terra (*Sicalis flaveola*), quanto espécies frequentes em regiões de mata como coleirinho (*Sporophila caerulescens*). Não foram verificadas espécies dominantes na área total estudada.

Analisando as três subáreas, enquanto a riqueza de espécies foi semelhante entre elas, sendo avistadas 18, 21 e 17 espécies nas subáreas A1, A2 e A3, respectivamente, a abundância total aumentou de uma área para outra a medida em que houve um afastamento da Av. Mauro Ramos, com 174 espécimes na A1; 470 na A2; e, 692 na A3, conforme apresentado na Tab. 1. Nenhuma das três subáreas apresentou espécies dominantes.

Tabela 1 - Riqueza, abundância total e número de espécies abundantes distribuídas por subárea em comparação com a área total estudada.

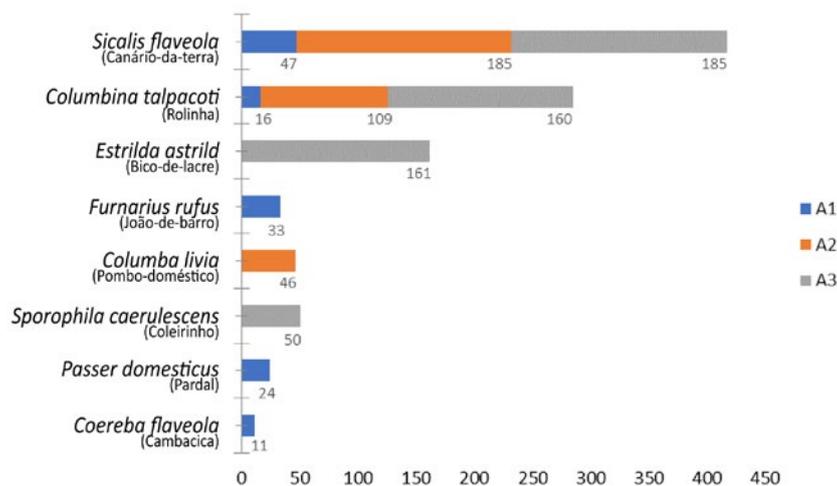
	A1	A2	A3	Total
Riqueza	18	21	17	28
Abundância total	174	470	692	1336
Número de espécies abundantes*	5	3	4	7

*Aqueles cuja ocorrência numérica supera o valor médio do número total de indivíduos das espécies numa determinada amostra (LÓBO; LEIGHTON, 1986).

Pode-se observar que na A1 avistou-se cinco espécies abundantes (*Sicalis flaveola*, *Columbina talpacoti*, *Furnarius rufus*, *Passer domesticus* e *Coereba flaveola*). Na A2 foram identificadas três espécies abundantes (*Sicalis flaveola*, *Columbina talpacoti* e *Columba livia*). E na A3 verificou-se a presença de quatro espécies abundantes (*Sicalis flaveola*, *Columbina talpacoti*, *Estrilda astrild* e *Sporophila caerulescens*). Esta comparação entre as espécies abundantes referentes às três subáreas estudadas está apresentada na Figura 3.

Figura 3: Espécies abundantes nas subáreas A1, A2 e A3 e respectivos valores de abundância relativa.

FONTE: Dados desta pesquisa.



A Tabela 2 apresenta a abundância relativa das espécies abundantes por subárea do Câmpus, bem como a ordem e família a que estas espécies pertencem. Todas as espécies listadas nesta tabela são consideradas residentes pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos (PIACENTINI, 2015). Esta distribuição das espécies abundantes pode estar relacionada às diferenças entre os ambientes do Câmpus Florianópolis.

Deve-se considerar que o ambiente urbano é heterogêneo e o nível de urbanização incide sobre a vegetação presente em cada área da zona urbana de acordo com o tipo de atividade, densidade de casas, arborização, etc., fato que exerce grande influência sobre a avifauna, tanto sobre espécies urbanas quanto sobre aquelas provenientes de ambientes naturais. Este fato também pode estar relacionado ao comportamento e hábitos alimentares das espécies (RUSZCZYK et al., 1987; RODRIGUES; BORGES-MARTINS; ZILIO, 2018).

Nome do Táxon	Nome Popular	Abundância Relativa		
		A1	A2	A3
COLUMBIFORMES				
COLUMBIDAE				
<i>Columba livia</i>	Pombo-doméstico	10	46	NA
<i>Columbina talpacoti</i>	Rolinha	16	109	160
PASSERIFORMES				
ESTRILDIDAE				
<i>Estrilda astrild</i>	Bico-de-lacre	NA	1	161
FURNARIIDAE				
<i>Furnarius rufus</i>	João-de-barro	33	22	26
PASSERIDAE				
<i>Passer domesticus</i>	Pardal	24	7	9
THRAUPIIDAE				
<i>Coereba flaveola</i>	Cambacica	11	6	13
<i>Sicalis flaveola</i>	Canário-da-terra	47	185	185
<i>Sporophila caerulescens</i>	Coleirinho	NA	NA	50

NA: Não Avistado. Destaque em negrito para a abundância relativa das espécies abundantes por subárea, aquelas cuja ocorrência numérica supera o valor médio do número total de indivíduos das espécies numa determinada amostra (LOBO; LEIGHTON, 1986).

Das espécies listadas como abundantes nas respectivas áreas na Tabela 2, cinco são espécies nativas e as espécies bico-de-lacre (*Estrilda astrild*), pardal (*Passer domesticus*) e pombo-doméstico (*Columba livia*) são exóticas, sendo esta última considerada uma espécie exótica invasora (SANTA CATARINA, 2012).

As espécies observadas na subárea A1 são consideradas abundantes ou comuns, residentes e nidificantes da região de Florianópolis e habitam ambientes com características de áreas antrópicas, urbanas e de restinga (NAKA; RODRIGUES, 2000). As espécies abundantes exclusivas desta área foram: *Furnarius rufus*, *Passer domesticus* e *Coereba flaveola*, sendo o *Passer domesticus* a única espécie exótica abundante desta área. Além destas foram registradas como abundantes: *Columbina talpacoti* e *Sicalis flaveola*. A espécie *F. rufus* foi avistada forrageando próxima a espécies arbóreas como Amendoeira (*Terminalia catappa*) e Jambolão (*Syzygium cumini*) e ainda aproveitando a disponibilidade de sobras de lanche dos estudantes, como pedaços de pão. *Furnarius rufus* também foi avistado no gramado a procura de insetos e alguns invertebrados, como minhocas. Sua nidificação, totalmente adaptada ao ambiente urbano, pode ser aproveitada por outras espécies, como a *S. flaveola* e o *P. domesticus*, que também foram encontradas forrageando, próximas entre si, nas gramíneas e embaixo das árvores da área. Juntamente com o *P. domesticus*, o *F. rufus* teve maior abundância relativa na subárea A1, que apesar de apresentar tamanho reduzido em relação às demais subáreas, pode suprir as necessidades alimentares destas duas espécies. *C. talpacoti* pode ter sua população controlada pela disponibilidade de alimentos, visto que esta área é disputada entre várias espécies com maior abundância relativa e hábitos alimentares comuns, apesar de ser considerada a espécie nativa que mais rapidamente se adaptou ao ambiente urbano (WIKIAVES, 2019b). *C. flaveola*, ave com menor abundância relativa na subárea A1 e também entre as demais aves abundantes quando se compara as demais subáreas estudadas, apresentou o hábito de se pendurar nos galhos sobre as árvores frutíferas do local, o que pode estar relacionado à sua alimentação ser a base de frutas, artrópodes e néctar (WIKIAVES, 2019a). Apesar de ser considerada por Sick (2001) uma espécie nectarívora, foi observada alimentando-se também de frutos em outros estudos, como o de Ribeiro e Silva (2005). No período deste estudo não havia abundância de flores e nem de frutos apreciados por esta espécie no local.

A espécie abundante exclusivamente na subárea A2 foi *Columba livia*. Esta espécie exótica é abundante na região de Florianópolis e está presente em áreas antrópicas e urbanas (NAKA; RODRIGUES, 2000). Apresenta coloração variada devido a mistura de várias raças. Possui uma convivência próxima aos seres humanos, segundo Rosário (2004), este contato se apresenta como uma fonte de alimentos e abrigo, por meio do oferecimento de migalhas, milho e construção de casinhas. Este comportamento justifica sua presença na subárea A2, por estar próxima à cantina do Câmpus e locais onde os estudantes costumam fazer lanche, o que proporciona uma fonte de alimento para os indivíduos desta espécie. A presença de casas ao sul da subárea A2 também contribui para alimentação desta espécie, visto que em 2019 houve maior concentração de *C. livia* próximo a uma residência que disponibiliza um comedouro contendo alimentos e sementes para aves.

Observou-se que as espécies *Sporophila caerulescens* e *Estrilda astrild* foram abundantes com exclusividade na subárea A3, destacando que sua ocorrência também foi apenas nesta área, sendo avistada um espécime isolado de *E. astrild* na subárea A2. Estas espécies foram avistadas em bandos de, aproximadamente, 15 e 40 espécimes, respectivamente, totalizando 50 espécimes de *S. caerulescens* e 161 espécimes de *E. astrild*, sempre pousadas nas hastes de *Brachiaria* sp., gramínea abundante em alguns períodos de observação. *S. caerulescens* é uma espécie que ocorre solitária, aos pares, ou em pequenos bandos, enquanto *E. astrild* é considerada uma espécie gregária (NAKA; RODRIGUES, 2000). Ambas as espécies pertencem à mesma guilda, sendo granívoros de sementes e habitam ambientes abertos e capinzais, sempre a procura por este tipo de alimento (OREN; SMITH, 1978; ROSÁRIO, 1996; SICK, 2001).

Notou-se a diminuição ou quase ausência destas espécies após o corte de *Brachiaria* sp. Sendo assim, a ocorrência destas duas espécies apenas na subárea A3 pode ser justificada pela presença de recursos alimentares comuns. Um estudo realizado por Tampson e Petry (2009) mostrou estas

espécies ocupando uma mesma área, onde notoriamente houve maior concentração de nidificações exclusivas de *S. caerulescens* e *E. astrild*. Este fato também pode justificar a presença de ambas as espécies com exclusividade nesta subárea. Segundo Piacentini (apud NAKA; RODRIGUES, 2000, p. 234), o *S. caerulescens* “nidificaria no Morro da Cruz, sendo que, durante a primavera e começos de verão, indivíduos juvenis desceriam de tal lugar”.

As espécies abundantes comuns às 3 subáreas foram *Sicalis flaveola* e *Columbina talpacoti*. A primeira apresenta dimorfismo sexual e costuma estar em grandes bandos, já a *C. talpacoti* vive aos pares (NAKA; RODRIGUES, 2000; ROSÁRIO, 2004). A abundância dessas espécies em todas as áreas pode estar ligada ao fato de que possuem hábitos sinantrópicos e são comumente observadas em fios elétricos, em média altura na vegetação e pelo chão. De acordo com Naka e Rodrigues (2000), *S. flaveola* é uma “ave muito conhecida e estimada como ave de gaiola”. Para estas espécies o convívio com seres humanos é considerado comum e a grande circulação de pessoas no Câmpus não impede sua presença.

O *Pitangus sulphuratus*, apesar de presente nas três subáreas, constou como espécie abundante somente quando analisada a área total do Câmpus. Essa espécie tem grande flexibilidade alimentar, conforme observado por Argel-de-Oliveira, Curri e Passerini (1998) e provavelmente explora as diversas opções alimentares disponíveis no Câmpus, o que poderia justificar sua presença nas três subáreas e sua capacidade de adaptação ao ambiente urbano.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o curto período de observação e a densidade de aves encontradas na área do IFSC Câmpus Florianópolis, entende-se este ambiente urbano como um importante habitat para manutenção da população de avifauna local. Uma das possibilidades para o registro expressivo, é o fato do Câmpus ser contíguo ao Parque Natural Municipal do Morro da Cruz.

Segundo Marcon e Vieira (2017) para evitar a baixa diversidade genética em parques isolados em áreas urbanas é importante a existência de conexões entre áreas verdes, formando corredores ecológicos. Neste contexto, sugere-se a condução de novos trabalhos no sentido de observar se o Câmpus Florianópolis apresenta importância no deslocamento das aves desde o Parque Natural Municipal do Morro da Cruz, até outras áreas mais distantes da cidade, permitindo uma maior área de vida para esta comunidade.

A distribuição das espécies abundantes nas três subáreas estudadas demonstrou a diferença de comportamento e hábitos alimentares entre algumas espécies e a relação com a disponibilidade de recursos. As espécies consideradas sinantrópicas de fato foram abundantes nas áreas onde há maior circulação de pessoas e veículos, enquanto as espécies frequentes em áreas de mata foram abundantes na subárea A3, mais isolada e próxima ao Maciço do Morro da Cruz. Pode-se observar que a abundância de avifauna apresentou relação direta com o tamanho de cada subárea.

As informações obtidas por este tipo de levantamento não são estáticas, visto que as aves possuem grande capacidade de deslocamento e colonizam, abandonam ou apenas passam por diferentes áreas (MARCON; VIEIRA, 2017). Logo incentiva-se a continuação do estudo, ampliando a atividade de monitoramento por avistamento, especialmente em outros turnos e períodos do ano, o que contribuirá para uma maior quantidade de dados sobre a comunidade de avifauna que interage no Câmpus e para ampliação dos estudos aplicados aos hábitos das espécies.

Em especial, visando incrementar a riqueza e abundância da população de avifauna na área do IFSC Câmpus Florianópolis, recomenda-se o planejamento de uma arborização de qualidade, com espécies nativas e que possibilitem recursos alimentares, abrigo e ambiente de nidificação para a avifauna.

REFERÊNCIAS

- ARGEL-DE-OLIVEIRA, M. M.; CURRI, N. A.; PASSERINI, T. Alimentação de um filhote de bem-te-vi, *Pitangus Sulphuratus* (LINNAEUS) (Passeriformes, Tyrannidae), em ambiente urbano. **Revista Brasileira de Zoologia**, Curitiba, PR, v. 15, n. 4, p. 1103-1109, 1998. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbzool/v15n4/v15n4a27.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.
- FLORIANÓPOLIS. Geoprocessamento Corporativo. Prefeitura de Florianópolis. Unidade de Conservação. **Parque Natural Municipal do Morro da Cruz**. Disponível em: <http://geo.pmf.sc.gov.br/>. Acesso em: 17 set. 2019.
- FRISCH, J.; FRISCH, C. **Aves brasileiras e plantas que as atraem**. 3. ed. São Paulo: Dalgas Ecoltec, 2005.
- KACHIMARECK, J. L. (2014). [WA1640742, *Sporophila caerulescens* (Vieillot, 1823)]. **Wiki Aves** - A Enciclopédia das Aves do Brasil. Disponível em: <http://www.wikiaves.com/1640742>. Acesso em: 14 maio 2020.
- LOBO, E. A.; LEIGHTON, G. Estrutura de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Rev. Biol. Mar.**, Santiago, v. 22, n.1, p.143-170, 1986.
- MARCON, A. P.; VIEIRA, B. P. **Aves do Parque Ecológico do Córrego Grande**. 1ª ed. Florianópolis, SC, 2017. Disponível em: https://www.academia.edu/34247518/Aves_do_Parque_Ecologico_do_Corrego_Grande. Acesso em: 20 jan. 2020.
- MAPA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Registro Nacional de Cultivares. In: _____. **CultivarWeb**. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, [2020]. Disponível em: http://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php? Acesso em: 15 maio 2020.
- McKINNEY, M. L. Urbanization as a major cause of biotic homogenization. **Biol. Conserv.**, v. 127, n. 3, p.247-260, jan. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.09.005> Acesso em: 16 maio 2020.
- NAKA, L; RODRIGUES, M. **As aves da Ilha de Santa Catarina**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2000.
- NOBRE, R. de A.et al. **Monitoramento da Biodiversidade: Roteiro Metodológico de Aplicação**. Brasília: ICMBio, 2014. 43 p. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/Monitoramento_da_Biodiversidade_-_Roteiro_metodol%C3%B3gico_de_aplica%C3%A7%C3%A3o_1.pdf. Acesso em: 10 out. 2019.
- OLIVEIRA, J. C.; BRENTANO, D. M. Projeto Verde Novo: levantamento florístico preliminar do IF-SC Campus Florianópolis. **Caderno de Publicações Acadêmicas IF-SC**, v. 2, p. 35-42, 2010. Disponível em: <https://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/publicacoes/article/view/89/53>. Acesso em: 15 maio 2020.
- OREN, D.; SMITH, N. O bico-de-lacre (*Estrilda astrild*): um passarinho africano na avifauna de Manaus. **Acta Amaz.**, Manaus, v. 8, n. 4, p. 699-701, dez. 1978. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59671978000400699&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 05 dez. 2019.
- PABLO-CEA, José D.; FUNES, Guillermo; CHINCHILLA-RODRIGUEZ, Abizai C. Aves de la Universidad de El Salvador. **Huitzil**, Omitlán, v. 20, n. 1, 2019. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-74592019000100102&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 15 mai.2020.
- PIACENTINI, Vítor de Q. et al. Lista comentada das aves do Brasil pelo Comitê Brasileiro de Registros Ornitológicos. **Rev. Bras. de Ornitologia**, v. 23, n. 2, p. 91-298, jun. 2015. Disponível em: <http://www.cbro.org.br/PDF/Piacentini%20et%20al%202015%20RBO.pdf>. Acesso em: 11 maio 2020.
- PEREIRA, Z. da P.et al. Monitoramento de ninhos de aves em um parque urbano. **Revista Brasileira de Zoociências**, Uberlândia, MG: v. 1, n. 11, p.39-45, abr. 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264934461_Monitoramento_de_ninhos_de_aves_em_um_parque_urbano. Acesso em: 20 jan. 2020.

RIBEIRO, L. B.; SILVA, M. G. Comportamento alimentar das aves *Pitangus sulphuratus*, *Coereba flaveola* e *Thraupis sayaca* em palmeiras frutificadas em área urbana. **Revista de Etologia**, São Paulo, SP: v. 7, n. 1, p. 39-42, jun. 2005. Disponível em: http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-28052005000100004&lng=pt&nrm=iso. Acesso em: 13 nov. 2019.

RODRIGUES, Aline Goulart; BORGES-MARTINS, Márcio; ZILIO, Felipe. Bird diversity in an urban ecosystem: the role of local habitats in understanding the effects of urbanization. **Iheringia, Sér. Zool.**, Porto Alegre, v. 108, jun. 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0073-47212018000100217&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 16 maio 2020.

ROSÁRIO, L. **As aves em Santa Catarina**: distribuição geográfica e meio ambiente. Florianópolis, SC: FATMA, 1996.

ROSÁRIO, L. **Um outro olhar da Via Expressa Sul**. Florianópolis, SC: Ed. da Autora, 2004.

RUSZCZYK, A. et al. Distribution patterns of eight bird species in the urbanization gradient of Porto Alegre, Brazil. **Ciência e Cultura**, v. 39, n. 1, p. 14-19, 1987.

SANTA CATARINA (Estado). Conselho Estadual do Meio Ambiente. **Resolução nº 08, de 14 de setembro de 2012**. Reconhece a Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras no Estado de Santa Catarina e dá outras providências. Florianópolis, SC: Diário Oficial, 02 out. 2012. Disponível em: <http://www.fatma.sc.gov.br/upload/rppne/resconsema201208.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2019.

SCOPEL, L. et al. Seabird diets as bioindicators of Atlantic herring recruitment and stock size: a new tool for ecosystem-based fisheries management. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, Vancouver, v. 15, n. 1, p. 1-15, out. 2017.

SICK, H. **Ornitologia Brasileira**. Rio de Janeiro, RJ: Editora Nova Fronteira, 2001.

TAMPSON, V.; PETRY, M. Nidificação e análise das guildas alimentares de aves no Morro do Espelho, na Zona Urbana de São Leopoldo - RS. **Biodiversidade Pampeana**, Uruguaiana, v. 6, n. 2, p. 63-69, 17 mar. 2009. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/7c91/266941f3a1db345274cbcaef75a359e93008.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2019.

TEMPLE, S.; WIENS, J. Bird populations and environmental change: can birds be bio-indicators?. **American Birds**, Racine, v. 43, n. 2, p. 260-270, jan. 1989. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267855385_Bird_populations_and_environmental_changes_Can_birds_be_bio-indicators. Acesso em: 23 out. 2019.

WIKIAVES. **Cambacica**. Disponível em: <https://www.wikiaves.com.br/wiki/cambacica>. Acesso em: 08 out. 2019a.

WIKIAVES. **Rolinha-roxa**. Disponível em: <https://www.wikiaves.com.br/wiki/rolinha-roxa>. Acesso em: 08 out. 2019b.

WIKIAVES: observação de aves e ciência cidadã para todos. 2020. Disponível em: <http://www.wikiaves.com.br>. Acesso em: 10 maio 2020..

ANÁLISE ESTRUTURAL DE FLEXO-TORÇÃO: UM COMPARATIVO ANALÍTICO, EXPERIMENTAL E NUMÉRICO

ANDRÉ FRIEDRICH¹

DANIEL BERTAN²

DANIEL BARALDI³

CARLOS AITA⁴

KLUNGER BECK⁵

MARCELO TOSO⁶

RESUMO

Na solução dos problemas de engenharia, existem basicamente três abordagens: enfoque teórico (analítico), numérico ou experimental. Alguns problemas em específico requerem a utilização, de forma complementar, de métodos combinados. A extensometria é uma técnica utilizada para a análise experimental de tensões e deformações em estruturas mecânicas, máquinas e equipamentos, na qual utilizam-se extensômetros (strain-gauges), que são baseados na mudança de resistência elétrica do material ao ser submetido a tensões. Estes dispositivos também podem ser associados a transdutores para medir pressão, tensão, força e aceleração, entre outros. Neste trabalho é realizado um comparativo dos valores de tensões e deformações presentes na estrutura de um dispositivo mecânico de flexo-torção, sendo o objetivo analisar e comparar os dados experimentais com os resultados analíticos e de simulações em software. Quanto aos resultados obtidos, foram utilizadas três massas diferentes nos experimentos, verificando que a tensão de Von Mises atingiu valores de 23, 24 e 27% distantes dos valores teóricos e 14, 15 e 19% distantes dos resultados simulados computacionalmente.

Palavras-Chave: Extensometria, Instrumentação, Strain-Gauge, Tensão de Von Mises.

INTRODUÇÃO

Em muitas aplicações da engenharia, as quais apresentam a ação de esforços combinados em estruturas, existem dificuldades para se determinar o estado de tensões e deformações nesses sistemas mecânicos. Diante disto, é de suma importância encontrar os valores desses esforços para definir o coeficiente de segurança de um projeto mecânico, visando então a segurança da estrutura/equipamento. Uma das ferramentas que auxiliam na determinação de esforços e deformações é a extensometria, que se utiliza de sensores, como rosetas extensométricas, e também sistemas de aquisição de dados para obtenção desses valores (HIBBELER, 2010).

Um extensômetro de resistência variável, segundo Savi (1981) “consiste essencialmente de uma grade constituída de um fio muito fino presa à uma ou duas folhas de papel tratado ou qualquer

1 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Acadêmico de Engenharia Mecânica, Campus Xanxerê, andre.f1997@aluno.ifsc.edu.br

2 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Acadêmico de Engenharia Mecânica, Campus Xanxerê, daniel.ab@aluno.ifsc.edu.br

3 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Acadêmico de Engenharia Mecânica, Campus Xanxerê, daniel.b7@aluno.ifsc.edu.br

4 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professor de Engenharia Mecânica, Campus Xanxerê, carlos.aita@ifsc.edu.br

5 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professor de Engenharia Mecânica, Campus Xanxerê, klunger.beck@ifsc.edu.br

6 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professor de Engenharia Mecânica, Campus Xanxerê, marcelo.toso@ifsc.edu.br

outro material portador conveniente”. Já uma roseta extensométrica é a combinação de vários extensômetros de resistência elétrica, que são formados por grades metálicas e que tem a capacidade de medir deformação mecânica por meio da excitação dessa resistência elétrica. A vantagem da roseta extensométrica é a sua capacidade de medir deformações em diferentes direções (JOHNSTON, 1995).

A partir da medição de deformação de uma roseta extensométrica, é possível calcular os esforços e tensões principais (tensões máximas e mínimas presentes em uma estrutura), sendo possível avaliar o coeficiente de segurança estrutural. Em vista disso, o objetivo deste trabalho é comparar três modelos de estudo: analítico, experimental e numérico, das tensões e deformações de uma estrutura submetida à esforços de flexo-torção. Este dispositivo estrutural foi desenvolvido em laboratório para estudo da relação constitutiva envolvendo tensões e deformações

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conceitos de tensão e deformação

Solicitações compostas são diversas cargas sendo aplicadas em uma estrutura, tornando a avaliação analítica da estrutura complexa. Sendo assim, uma roseta extensométrica é uma ferramenta adequada para análise de tensões, já que ela consegue mensurar as deformações em três direções de um mesmo ponto (JOHNSTON, 1995). Uma vez determinados esses valores, é possível calcular as deformações principais, que são as variáveis necessárias para identificar as tensões principais. Tensões principais são as tensões máximas e mínimas de um ponto em uma estrutura (HIBBELER, 2010). Considerando estas informações, utiliza-se uma roseta triaxial, em os eixos do extensômetro formam ângulos de 45° entre si. As Equações 1 e 2 representam as tensões principais no ponto da estrutura submetida a um esforço de flexo-torção (combinação de esforços mecânicos de flexão e torção), no qual se encontra colado o extensômetro (HIBBELER, 2010):

$$\sigma_1 = \left(\frac{E}{2}\right) \cdot \left[\frac{(\varepsilon_A + \varepsilon_C)}{(1-\nu)} + \frac{1}{(1+\nu)} \sqrt{(\varepsilon_A - \varepsilon_C)^2 + (2\varepsilon_B - \varepsilon_A - \varepsilon_C)^2} \right] \quad (1)$$

$$\sigma_2 = \left(\frac{E}{2}\right) \cdot \left[\frac{(\varepsilon_A + \varepsilon_C)}{(1-\nu)} - \frac{1}{(1+\nu)} \sqrt{(\varepsilon_A - \varepsilon_C)^2 + (2\varepsilon_B - \varepsilon_A - \varepsilon_C)^2} \right] \quad (2)$$

Em que:

ε_A = deformação da direção horizontal da roseta;

ε_B = deformação da direção a 45° da roseta;

ε_C = deformação da direção vertical da roseta;

ν = coeficiente de Poisson do aço 1020;

E = módulo de elasticidade do aço 1020.

As deformações principais, de acordo com Hibbeler (2010) são as deformações normais ocorridas no ponto de análise. As Equações 3 e 4 representam as deformações máximas e mínimas presentes em um componente mecânico:

$$\varepsilon_1 = \frac{\varepsilon_A + \varepsilon_C}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_A - \varepsilon_C)^2 + (2\varepsilon_B - \varepsilon_A - \varepsilon_C)^2} \quad (3)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_A + \varepsilon_C}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_A - \varepsilon_C)^2 + (2\varepsilon_B - \varepsilon_A - \varepsilon_C)^2} \quad (4)$$

Além disso, existe também a tensão cisalhante máxima, já que a torção presente no dispositivo gera uma força cisalhante. A Equação 5 é utilizada para a avaliação da tensão cisalhante máxima:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{2} + \tau_{xy}^2} \quad (5)$$

A partir das tensões e deformações principais, pode-se chegar na Tensão de Von Mises, que representa a tensão equivalente das cargas combinadas no ponto, sendo representada pela Equação 6 (NORTON, 2013):

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2} \quad (6)$$

A Tensão de Von Mises possibilita encontrar o fator de segurança (FS) da estrutura analisada. O FS é o valor que garante uma margem segura de operação para que não haja falha mecânica do projeto estrutural. No caso do dispositivo flexo-torção foi utilizada a Equação 7 para a avaliação do FS:

$$FS = \frac{\sigma_e}{\sigma'} \quad (7)$$

Onde:

σ_e = Tensão de escoamento do aço 1020.

Extensometria

Os resultados dos cálculos analíticos de uma estrutura podem ser comparados com os resultados experimentais mensurados pelo uso de extensômetros triaxiais. Minela (2017) obteve um erro máximo de 6% aplicando extensômetros em corpos de prova que estavam sujeitos a tensões de flexão e torção. Utilizando um sistema de aquisição de dados, o estudo mensurou as deformações lidas pelos extensômetros. Um dos corpos de prova, inclusive, é semelhante ao aplicado neste trabalho. Por fim, compararam-se as deformações experimentais com os resultados analíticos. A autora concluiu que os extensômetros e os corpos de prova usados podem ser aplicados a condições reais de deformação.

Silva et al. (2019) atingiu resultados extremamente próximos ao do analítico quando comparados com os dados experimentais ao aplicar extensômetros em uma barra sujeita à flexão e um eixo sujeito à torção, separadamente. O sistema de aquisição de dados foi desenvolvido a partir de um arduíno (placa de prototipagem eletrônica de código aberto, baixo custo e fácil manuseio). Na primeira análise (flexão), foi aplicada uma carga momentânea e, na segunda análise (torção), aplicou-se a mesma carga duas vezes, com tempo de duração de três segundos. Os resultados obtidos estão de acordo com a literatura citada e adequados à proposta do estudo.

Simulação numérica

No presente trabalho, a simulação estrutural é outra forma de validação dos resultados. Segundo Gusmão (2015), “a simulação é uma ferramenta de análise que possibilita testar e avaliar projetos industriais durante o seu desenvolvimento”. Com essa ferramenta, é possível analisar estruturas e prever falhas estruturais/mecânicas. Neste artigo, realiza-se uma simulação estrutural, no software SolidWorks, do dispositivo de flexo-torção com o intuito de coletar as

informações dos fenômenos de deformação e tensão e dessa forma comparar com os dados experimentais e analíticos. Nesta análise, utiliza-se o Método dos Elementos Finitos (MEF). Segundo Cook et al. (1989) o método dos Elementos Finitos é um método numérico utilizado para analisar estruturas e meios contínuos que resolvem problemas complexos, de difícil solução, por meio de métodos clássicos analíticos. Os resultados das equações algébricas, que são generalizadas e resolvidas por um computador, raramente são exatos, no entanto os erros são minimizados pelo processamento de um número elevado de equações que geram resultados com satisfatória precisão para a engenharia. .

METODOLOGIA

O projeto e a construção do protótipo para análise estrutural de flexo-torção foi realizado no Instituto Federal de Santa Catarina - Câmpus Xanxerê. Primeiramente realizou-se o projeto e construção do dispositivo de flexo-torção. Posteriormente, realizou-se o projeto e construção de uma bancada estrutural para montagem do dispositivo de solicitações compostas (Figura 1). Os materiais e equipamentos utilizados no desenvolvimento das atividades estavam disponíveis no câmpus, desde a matéria prima até os equipamentos para corte, soldagem e pintura. Para facilitar a comparação dos dados, o estudo foi realizado em três etapas: método analítico, experimental e numérico.

Método Analítico

Para efetivar a análise, realizou-se a modelagem dos componentes do equipamento de flexo-torção utilizando um software CAD 3D, no qual cada parte foi desenhada, dimensionada e por fim realizado a montagem da estrutura. Esse dispositivo baseia-se em um tubo redondo com um lado soldado em uma base, e com uma cantoneira de abas simétricas soldada no lado oposto. A Figura 1, mostra a representação esquemática do dispositivo de flexo-torção e da bancada didática estrutural para montagem deste dispositivo.

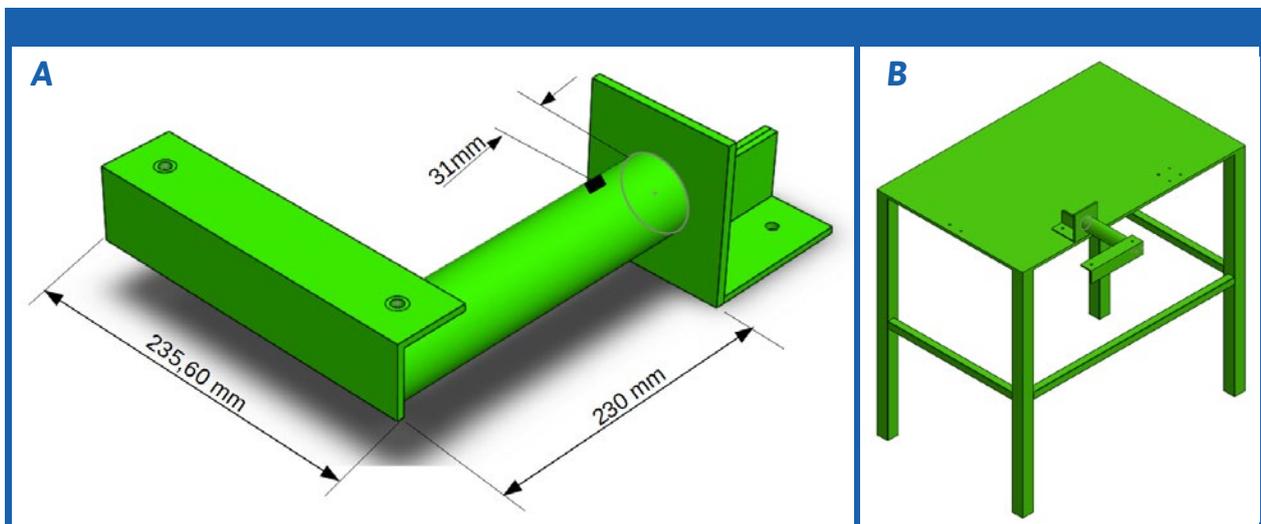


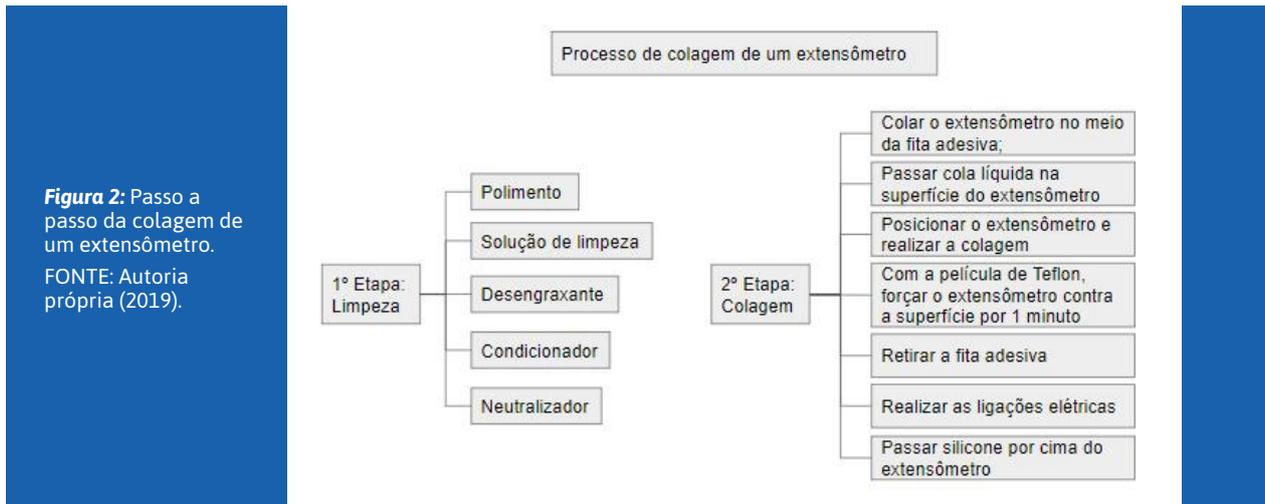
Figura 1: a) Dispositivo de flexo-torção. b) Bancada didática estrutural para análise de solicitações compostas.

FONTE: Autoria própria (2019).

Com base nas dimensões da estrutura acima, foram executados os cálculos referentes ao modelo analítico em uma planilha eletrônica, utilizando as Equações 1 a 7.

Método experimental

A colagem dos extensômetros foi realizada seguindo os procedimentos padrão de colagem/ instalação, sugerido pelo fabricante do extensômetro (Excel Sensores®). Primeiramente, a superfície do tubo foi lixada e polida, com o intuito de eliminar impurezas e reduzir a rugosidade da superfície, utilizando lixas de granulometria 80 até 320 (norma ANSI). Posteriormente, foram aplicados desengraxantes industriais, com a finalidade de remover as oleosidades, oxidações e impurezas na superfície metálica. Por fim, foi colado o extensômetro de modelo PA-09-125YA-120-L e gaugefactor de 2,12. Na etapa final, realizaram-se as ligações do extensômetro no sistema de aquisição de dados. O passo a passo da fixação do extensômetro é exemplificado na Figura 2:



Após a etapa de colagem, foi realizado o teste de continuidade, com o intuito de verificar se as ligações elétricas foram efetuadas de forma correta entre o extensômetro e o sistema de aquisição de dados.

O resultado da colagem do extensômetro (roseta triaxial), utilizando uma cola à base de Cianoacrilato, está representado na Figura 3, onde o extensômetro triaxial está posicionado na parte polida da estrutura.



A análise experimental, realizada por meio da mensuração de dados obtidos pela instrumentação eletrônica, exige o uso de equipamentos adequados para a medida e o registro das grandezas de interesse (deformação). Nesse sentido, foi utilizado um sistema de aquisição de dados para coletar os sinais transmitidos pelos extensômetros. O equipamento utilizado foi o ADS1800 da Lynx®, que tem taxa de amostragem de 24000 dados por segundo, resolução de 24 bits e 8 canais de medição. O ADS1800 tem a função de microcontrolador, processando e transmitindo as informações mensuradas pelo extensômetro para o computador, onde está instalado o software AqDados, que realiza a análise e os cálculos desses dados. A Figura 4 mostra o sistema de aquisição de dados e a interface do software, respectivamente:

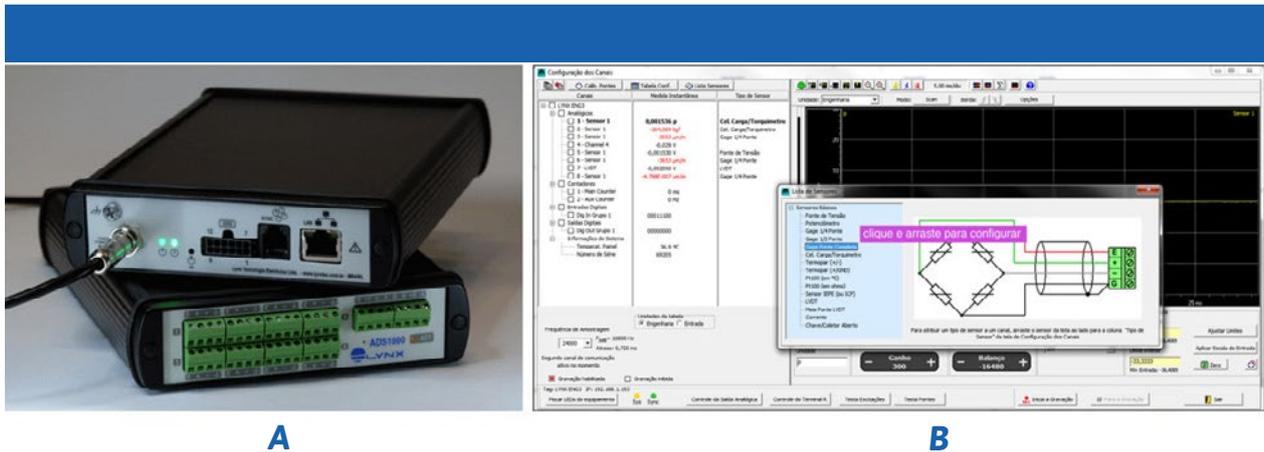


Figura 4: (a) Sistema de aquisição de dados ADS1800 e (b) Interface do software AqDados®.
FONTE: LYNX TECNOLOGIA (s.d).

Os experimentos foram realizados considerando três massas conforme apresentado na Figura 5:

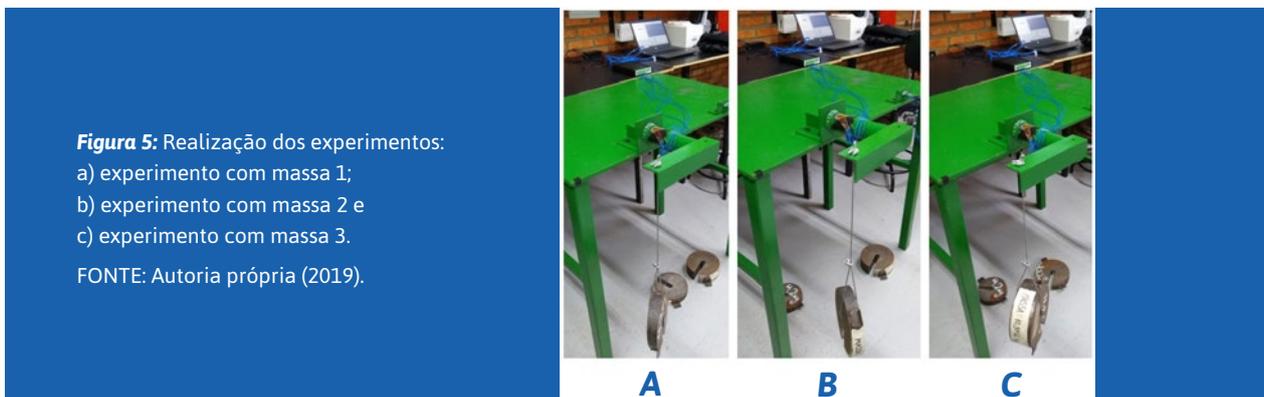


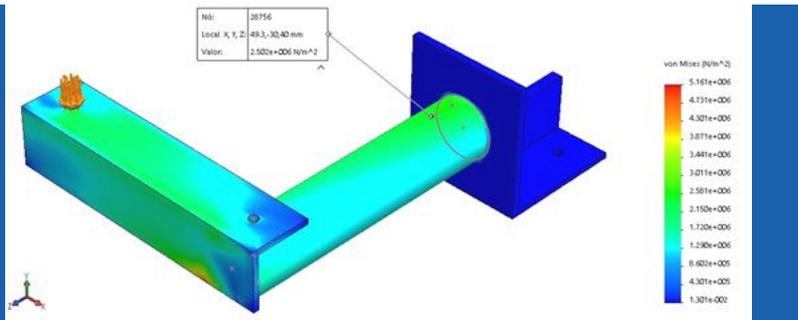
Figura 5: Realização dos experimentos:
a) experimento com massa 1;
b) experimento com massa 2 e
c) experimento com massa 3.
FONTE: Autoria própria (2019).

Após colado o extensômetro do tipo roseta triaxial (45°) na estrutura de flexo-torção e conectado ao sistema de aquisição de dados ADS1800 juntamente com o computador que contém o software AqDados®, foram colocadas as três massas distintas (3,807; 5,900 e 10,855kg). As massas foram medidas com o auxílio de uma célula de carga conectada à bancada didática experimental e ao sistema ADS1800. Ao adicionar a massa no dispositivo de flexo-torção, é aplicada uma força vertical para baixo deformando a estrutura nos três eixos, cada um a 45° entre si. Essas deformações são mensuradas pelo extensômetro e enviadas ao sistema de aquisição de dados para que possam ser analisadas no software AqDados®. Todos os testes foram realizados em triplicata, ou seja, para cada carga aplicada realizou-se três medições. Após os ensaios, avaliou-se a média e o desvio-padrão de cada deformação mensurada.

Método numérico

Diante do dispositivo flexo-torção gerado em 3D, utilizou-se o software Solidworks® para coletar os dados numéricos, no qual a simulação do experimento foi realizada com condições de contorno semelhantes ao real, conforme a Figura 6:

Figura 6: Simulação do experimento no software Solidworks®.
FONTE: Autoria própria (2019).



Na figura acima, observa-se a força sendo aplicada, a distribuição das tensões na estrutura e o valor da tensão de Von Mises exatamente no ponto correspondente ao local em que extensômetro está colado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os dados de deformação originalmente mensurados com o uso do extensômetro considerando três direções. Nesse trabalho denominam-se as três direções como sendo a, b e c.

Tabela 1 - Deformação originalmente mensurada

	Deformação			Média	Desvio Padrão
	ϵ_a ($\mu\text{m}/\text{m}$)	ϵ_b ($\mu\text{m}/\text{m}$)	ϵ_c ($\mu\text{m}/\text{m}$)		
ϵ_a ($\mu\text{m}/\text{m}$)	-4,79	-4,89	-4,95	-4,88	0,08
ϵ_b ($\mu\text{m}/\text{m}$)	11,90	10,90	11,10	11,30	0,53
ϵ_c ($\mu\text{m}/\text{m}$)	11,40	11,60	11,40	11,50	0,11

FONTE: Autoria própria (2019).

Considerando os resultados mensurados nesse trabalho (Tabela 1), pôde-se subsequentemente avaliar as seguintes variáveis: deformações principais máximas e mínimas (ϵ_1 e ϵ_2), tensões principais máximas e mínimas (σ_1 e σ_2), tensão de cisalhamento máximo ($\tau_{\text{máx}}$), tensão de Von Mises (σ') e fator de segurança (FS). Os resultados analíticos, experimentais e numéricos estão apresentados nas Tabelas 2, 3 e 4, respectivamente.

Tabela 2 - Resultados analíticos

Massa (kg)	ϵ_1 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	ϵ_2 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	$\tau_{\text{máx}}$ (MPa)	σ' (MPa)	FS
3,807	12,744	-6,438	2,436	-0,589	1,512	2,778	90,003
5,900	19,751	-9,978	3,775	-0,913	2,344	4,305	58,075
10,855	36,339	-18,357	6,946	-1,680	4,313	7,920	31,565

FONTE: autoria própria (2019).

Tabela 3 - Resultados experimentais

Massa (kg)	ϵ_1 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	ϵ_2 ($\mu\text{m}/\text{m}$)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	$\tau_{\text{máx}}$ (MPa)	σ' (MPa)	FS
3,807	9,701	-5,308	1,827	-0,540	1,183	2,148	116,375
5,900	14,734	-8,144	2,769	-0,839	1,804	3,270	76,452
10,855	27,867	-14,230	5,316	-1,322	3,319	5,803	43,084

FONTE: autoria própria (2019).

Tabela 4 - Resultados numéricos

Massa (kg)	ε_1 ($\mu\text{m/m}$)	ε_2 ($\mu\text{m/m}$)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	$\tau_{\text{máx}}$ (MPa)	σ' (MPa)	FS
3,807	11,900	-5,000	2,270	-0,420	1,354	2,500	100,000
5,900	18,440	-7,810	3,520	-0,640	2,080	3,850	64,935
10,855	33,900	-14,300	6,470	-1,190	3,830	7,150	34,965

FONTE: autoria própria (2019).

Diante das informações obtidas nos testes experimentais, nas análises numéricas e analíticas, é possível criar uma relação entre os resultados por meio da taxa de erro e, dessa forma, comparar os métodos estudados neste trabalho. Tem-se a tensão Von Mises como sendo a principal variável da análise, tendo em vista que ela representa todas as tensões principais no ponto de interesse. Outro fator importante que deve ser considerado é o Fator de Segurança (FS), o qual resultou em valores maiores do que 30 em todos os casos, demonstrando que a estrutura está dimensionada de forma correta para o dispositivo de flexo-torção. Os erros entre experimental-analítico e experimental-numérico da tensão de Von Mises são mostrados na Tabela 5:

Tabela 5 - Comparativo de erro entre os dados de Tensão de Von Mises

Massa	Erro Experimental x Analítico	Erro Experimental x Numérico
A (3,807 kg)	23%	14%
B (5,900 kg)	24%	15%
C (10,855 kg)	27%	19%

FONTE: autoria própria (2019).

Na interpretação dos resultados da Tabela 5, observou-se que os valores experimentais apresentaram uma variação maior dos resultados analíticos, quando comparados com os resultados numéricos. Isso acontece pois existem algumas fontes de incerteza, como, por exemplo, no método analítico, que é desenvolvido com diversas suposições e idealizações.

A colagem e posicionamento dos extensômetros também agrega erro ao resultado, a soldagem do equipamento implica em distorções e possível empenamento da estrutura, o suporte dos pesos também pode ser considerado como uma fonte de incerteza, além de incertezas geométricas. Também há possíveis incertezas nos valores das propriedades mecânicas do aço utilizado.

Observa-se que o aumento do erro ocorre de maneira simultânea ao aumento da carga aplicada, podendo ser caracterizado como um erro sistemático de medição. Ou seja, mesmo considerando todas as orientações da literatura e dos fabricantes, há a possibilidade de ocorrência de erros que alteram os resultados. Além disso, destaca-se que, por tratar-se de um experimento com várias especificidades, torna-se difícil a comparação dos resultados obtidos com informações da literatura.

CONCLUSÕES

Com o objetivo de validar um estudo extensométrico, foi desenvolvido um dispositivo para analisar os efeitos de torção e flexão estrutural a partir da aplicação de cargas em um determinado ponto da estrutura. Ao final das etapas de aquisição de dados, sendo elas pelos métodos analítico, experimental e numérico, foi possível determinar as tensões de Von Mises, tensões máximas e deformações presentes na estrutura, além do fator de segurança para cada um dos experimentos realizados.

Diante desses valores, realizou-se a comparação dos resultados da tensão de Von Mises. Os menores erros encontrados estão associados ao menor valor de massa (3,807 kg). Considerando o resultado

experimental-analítico, obteve-se um erro de 23% e, quando analisado o resultado experimental-numérico, tem-se um erro de 14%. Mesmo seguindo as orientações de colagem de extensômetros do fabricante, alguns erros podem acontecer, os quais podem ter influenciado nos resultados, conforme sugerido na seção anterior.

Os extensômetros utilizados demonstraram-se capazes de realizar as medições atendendo as necessidades deste trabalho. O sistema de aquisição de dados comportou-se de maneira estável para aplicação e o software AqDados (Lynx®) funcionou corretamente. O fator de segurança obtido indica que o dispositivo estrutural foi dimensionado corretamente.

Para trabalhos futuros, sugere-se o aprimoramento na coleta dos dados para diminuição dos erros, por exemplo: melhorar a colagem dos extensômetros, aumentar o número de amostras de dados coletados, utilizar softwares dedicados à simulação estrutural, adicionar os cordões de solda ao desenho em CAD.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro recebido da FAPESC e do IFSC no desenvolvimento do projeto de pesquisa (Edital de Chamada Pública FAPESC nº 06/2018).

REFERÊNCIAS

COOK, R., D.; MARKUS, D. S.; PLESHA, M. E. **Concepts and Applications of Finite Element Analysis**. John Wiley & Sons, Third Edition, 1989.

GUSMÃO, Valdemir Barros. **A importância da simulação tridimensional para os projetos industriais mecânicos**. 2015. TCC (Graduação), Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2015.

HIBBELER, Russell C. **Resistência dos materiais**. Tradução de Arlete Simille Marques. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

JOHNSTON, Elwood Russell. **Resistência dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Makron Books, 1995.

LYNX TECNOLOGIA. **ADS 1800**. [s.d.]. Página inicial. Disponível em: <https://www.lynxtec.com.br/prod_ads1800.htm>. Acesso em: 11 de fev. de 2020.

MINELA, Sthefani Neves. **Extensometria: estudo e aplicação**. 2017. 92 f. TCC (Graduação), Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/181638/Sthefani_Neves_Minela_TCC_2017_UFSC_Joinville.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 fev. 2020.

NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. Tradução de Konstatinos Dimitriou Stavropoulos. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SAVI, Hanilson. **Ponte para extensômetro de resistência variável**. 1981. 55 f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1981.

SILVA, Anderson Langone et al. A study of strain and deformation measurement using the Arduino microcontroller and strain gauges devices. **Rev. Bras. Ensino Fís.** São Paulo, v.41, n.3, 2019. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172019000300401&lng=en&nr m=iso>. Acesso em 27fev2020.

UMA ANÁLISE MATEMÁTICA PARTICULAR DAS CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS DE QUADRADOS MÁGICOS DE ORDEM ÍMPAR: SUGESTÃO PEDAGÓGICA NO PROCESSO DE ENSINO E APRENDIZAGEM DE MATEMÁTICA

EDEL ALEXANDRE SILVA PONTES¹

ANDRÉIA LEODÓRIO GUARINO²

JANAINA RODRIGUES DE MIRANDA³

JANAINÉ FERREIRA DOS SANTOS⁴

MARIA ALDENISE BARBOSA DOS SANTOS⁵

MATEUS BATISTA FERREIRA⁶

MAYARA DOS SANTOS SOARES⁷

RESUMO

Diversas pesquisas são realizadas em Educação Matemática e áreas afins na intenção de encontrar estratégias eficientes no processo de ensino e aprendizagem de matemática, com foco em desafios matemáticos. Este artigo estuda um caso particular de Quadrados Mágicos de ordem ímpar, na intenção de sugerir esse modelo matemático como atividade pedagógica regular no ato de ensinar e no ato de aprender matemática na educação básica. Vários matemáticos se envolveram em estudos sobre cubos e quadrados mágicos, principalmente na busca por respostas sobre suas relações, construções e classificação. Metodologicamente, exporemos alguns conceitos, teoremas e propriedades sobre Quadrados Mágicos e construiremos, em especial, os quadrados Mágicos de ordem ímpar. Espera-se que a utilização dos Quadrados Mágicos possa motivar o estudante a prosseguir seus estudos em busca de respostas para suas inquietações sobre a adequada aplicação da matemática em sua vidas.

Palavras-chave. Ensino e aprendizagem de matemática, Quadrados Mágicos.

INTRODUÇÃO

Atualmente, inúmeras pesquisas são realizadas em Educação Matemática e áreas afins na finalidade de encontrar estratégias eficientes no processo de ensino e aprendizagem de matemática, com foco em desafios matemáticos.

A matemática não pode ser visualizada como algo que existe por si só, sem relação com o homem e a natureza. É preciso perceber que seus modelos são extremamente substanciais para explicar os fenômenos do mundo e, desta forma, a sociedade deve exigir que a prática pedagógica do ensino e aprendizagem de matemática, nas bancas escolares, seja condizente com sua importância para a existência de tudo (PONTES, 2019b, p. 10).

O currículo de matemática, na educação básica, necessita passar por um sensato procedimento de realinhamento e deve ser repensado através de novas técnicas metodológicas que instiguem os estudantes por meio da vinculação a assuntos do cotidiano.

A falta de motivação e interesse dos alunos pela Matemática é um dos principais problemas que fazem com que o rendimento escolar nessa disciplina seja desastroso nos três níveis de ensino. Isto ocorre porque, na grande maioria das vezes, as aulas são monótonas, sem relações com o cotidiano do aluno nem com outras áreas do conhecimento, e nada desafiadoras (KRUSE, 2012, p. 65).

Pontes (2019a) afirma que a sala de aula se torna ambiente agradável quando se apresentam práticas motivadoras e criativas em harmonia com o mundo contemporâneo, composto de indivíduos intuitivos, com raciocínio lógico apurado, e de pensamento matemático aumentado.

Temos uma tendência de ensinar matemática como uma longa lista de regras. Você as aprende numa ordem e deve obedecê-las, caso contrário tira nota baixa. Isso não é matemática. Matemática é o estudo de coisas que aparecem de certo modo porque não poderiam ser de modo diferente. [...] Nem tudo na matemática pode ser perfeitamente transparente para a nossa intuição como a adição e a multiplicação (ELLENBERG, 2015, p. 21).

Este trabalho estuda um caso particular de Quadrados Mágicos de ordem ímpar, na intenção de sugerir esse modelo matemático como atividade regular no processo de ensino e aprendizagem de matemática na educação básica. Em seguida, apresenta-se uma sugestão de prática pedagógica que pode induzir o estudante a pensar matematicamente.

A Origem dos Quadrados Mágicos

Segundo uma lenda chinesa (2200 A.C.), o imperador — engenheiro da antiga China Yu, o Grande, da dinastia Hsia, estava meditando nas margens de um dos afluentes do rio Amarelo, quando surgiu uma tartaruga divina, animal sagrado na época, cujo osso temporal, seu casco, estava marcado nove números em três colunas de três números cada formando um quadrado conforme a Figura 1. Essas marcas são atualmente chamadas de Quadrado Mágico de Lo Shu ou Quadrado Mágico de Saturno.

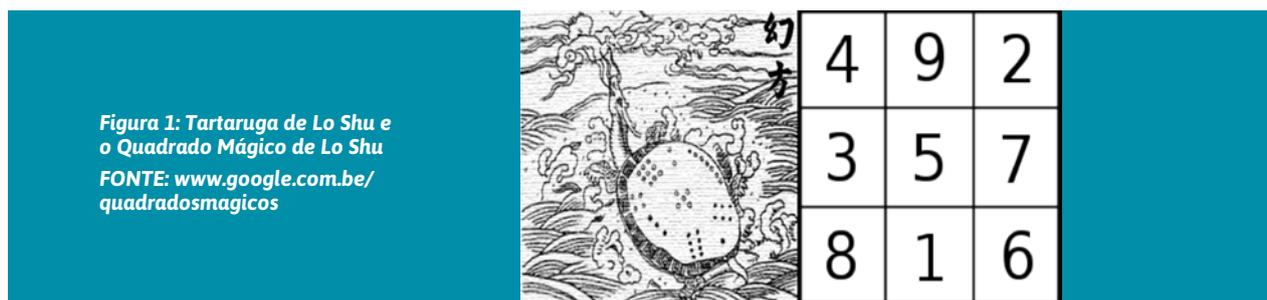


Figura 1: Tartaruga de Lo Shu e o Quadrado Mágico de Lo Shu
FONTE: www.google.com.br/quadradosmagicos

Percebe-se que as marcas de Lo Shu correspondem a números que formam um quadrado, as somas nas linhas, colunas e diagonais possui o mesmo resultado 15. O Quadrado Mágico de Lo Shu ou de Saturno, revelação secreta do universo: os números pares simbolizavam o princípio feminino, o Yin; e os números ímpares simbolizava o princípio masculino, o Yang. Além disso, o número 5 representava a Terra, Centro, Neutralidade e Saturno; 3 e 4 são Madeira; enquanto Leste simboliza Primavera e Júpiter; 6 e 7 são Metal, Oeste, Outono e Vênus; já 9 é Fogo, Sul, Calor, Polaris e Marte; 1 é Água, Norte, Frio Vega e Mercúrio; 2 representa Terra, Sudoeste, Ponto de Transição de Yin; por fim, 8 é Terra, Nordeste, Ponto de Transição Yang. Diante disto, os chineses acreditavam que quem possuísse um quadrado mágico de Lo Shu teria muita sorte e grande felicidade, uma vez que reuniria os princípios básicos que formavam o universo.

Na Idade Média os quadrados mágicos eram gravados em lâminas de prata como amuleto da peste negra. Os quadrados mágicos têm grande interesse em alguns meios. Na China e na Índia, há quem use tais quadrados mágicos gravados em metal ou pedra, como amuletos ou talismãs. Despertaram também interesse em alguns matemáticos, pelos problemas difíceis que originaram, em relação a construção, classificação e enumeração dos quadrados de uma dada ordem (SANTINHO; MACHADO, 2006, p. 2).

Os Quadrados Mágicos ficaram conhecidos na Europa a partir da Espanha; o responsável foi o filósofo e astrólogo hispano-judeu Abraham Ben Meir ibn Ezra (1090–1167) que traduziu diversas obras árabes para o hebraico que descreviam os quadrados mágicos e numerologia em geral. No início do século XIV, o escritor, professor bizantino Manuel Moschopoulos apresentou sua obra chamada Tratado de Quadrados Mágicos (1315).

Em 1510, Heinrich Cornelius Agrippa Von Nettesheim (1486–1535), um intelectual polemista e influente escritor da Renascença, escreveu “De Occulta Philosophia”. A obra tratava de Quadrados Mágicos de ordem 3 até à ordem 9, onde cada quadrado estava associado a um planeta astrológico.

Em 1514, o pintor alemão renascentista Albrecht Dürer, em sua gravura intitulada Melancolia, um ser alado sentado e cercado de objetos, apresentou um dos primeiros Quadrados Mágicos impresso (Figura 2). Observa-se que o quadrado mágico contém 16 números, distribuídos em quatro linhas horizontais e quatro linhas verticais; a soma dos números é igual a 34. Nota-se, na gravura, que Dürer utiliza o Quadrado Mágico para incorporar a data da criação de sua obra, usando os números da parte inferior do seu Quadrado Mágico 15 e 14 (1514).



Figura 2: Gravura Melancolia
de Albrecht Dürer — 1514
FONTE: [www.google.com.be/
melancoliaAlbrechtDürer](http://www.google.com.be/melancoliaAlbrechtDürer)

Diversos outros matemáticos, entre eles Pierre de Fermat (1601-1665) e Leonhard Euler (1707-1783), se envolveram em pesquisa sobre cubos e quadrados mágicos, principalmente na busca por respostas sobre suas relações, construções e classificação.

Quadrados Mágicos: seus Conceitos, Teoremas e Relações

Kraitchik (1942) e Gardner (1961) definem que um quadrado mágico de ordem n é uma matriz quadrada de ordem n com inteiros, de modo que a soma dos números de qualquer linha, qualquer coluna e as diagonais têm o mesmo valor. Para Andrews (1960), um quadrado mágico consiste em uma série de números arranjados em um quadrado, de maneira que cada linha, coluna e ambas diagonais de canto devem ter a mesma quantidade, denominada soma.

Essa soma é chamada constante mágica. Um quadrado latino de ordem n é uma matriz quadrada de ordem n , contendo elementos distintos, de forma que cada linha ou coluna não possua elementos repetidos.

Teorema da Constante Mágica: Seja um Quadrado Mágico de ordem n , então $S(n) = \frac{n(n^2+1)}{2}$.

Prova: Sejam $1, 2, 3, \dots, n^2$ os n^2 primeiros números inteiros positivos. Se k é a soma de uma coluna, então $S(n) = kn$. Ora, $S(n) = 1 + 2 + 3 + \dots + n^2$, daí, $2S(n) = (1 + n^2) + (1 + n^2) + (1 + n^2) + \dots + (1 + n^2)$, ou seja,

$$2S(n) = (1 + n^2)n^2 \therefore S(n) = \frac{(1+n^2)n^2}{2} \therefore kn = \frac{(1+n^2)n^2}{2} \therefore k = \frac{(1+n^2)n}{2} \blacksquare$$

3	4	5	6	7	...	n^2
15	34	65	111	175	...	$\frac{(1+n^2)n}{2}$

Propriedade dos Quadrados Mágicos de Ordem 3: Seja um Quadrado Mágico de ordem n . Então seu termo central vale $\frac{n^2+1}{2}$ e os valores, nos cantos do quadrado, são todos números pares, isto é, $2, 4, 6, \dots, 2n$.

Andrews (1960) afirma que os quadrados mágicos com um número ímpar de células são normalmente construídos por métodos que diferem da construção de outros quadrados com um mesmo número de células. Neste estudo, discutiremos unicamente sobre quadrados mágicos de ordem ímpar. A resolução de Quadrados Mágicos de ordem ímpar segue a Regra do cavalo: sobe-se uma fileira superior e move-se uma coluna à direita.

Seja um quadrado Mágico de ordem ímpar. Defina a casa do número 1 como a casa do meio da fileira horizontal superior. Em seguida, o número 2 deve ser colocado subindo uma fileira acima do número 1 e depois se movendo uma coluna à direita. E assim, sucessivamente.

Notas importantes: I. Se o número estiver na parte superior, continue nessa mesma fileira começando pela parte inferior. II. Se a sequência estiver no canto à direita do quadrado mágico, continue na mesma fileira começando pelo lado esquerdo. III. Se a sequência terminar em uma casa já numerada, defina o próximo número na casa diretamente abaixo desta.

Construção de um Quadrado Mágico de ordem ímpar

Conforme explicado, este estudo concentra-se unicamente na construção de Quadrados Mágicos de ordem ímpar. O Quadrado Mágico de ordem 3 será estabelecido utilizando duas regras distintas: (1) pela propriedade para Quadrados Mágicos de ordem 3 e pela regra do cavalo para Quadrados Mágicos de ordem ímpar.

É de nosso mérito expor a construção de um Quadrado Mágico de ordem 3, de modo que constitua o modelo de referência para o desenvolvimento de diferentes Quadrados Mágicos de ordem ímpar. Segundo Teixeira (2014) existem evidências que corroboram o emprego de quadrados mágicos de ordem 3, pelos índios maias e pelo povo hausa de África.

Resolução de um Quadrado Mágico de ordem 3, pela Propriedade: Seguindo o Teorema da Constante Mágica, Pela Propriedade dos Quadrados Mágicos de Ordem 3 (Quadro 1) observa-se que o termo central é o número 5 (Quadrado Azul). Ainda pela Propriedade, os valores, nos cantos do quadrado, são todos números pares. Dessa forma, deve-se escolher um dos cantos do quadrado e colocar o número 2 (Quadrado Vermelho). Daí, pela constante mágica, localizamos o número 8 (Quadrado Verde), pois $8+5+2=15$. Pode-se agora assentar os números 6 e 4 (Quadrado Laranja), nos outros cantos do quadrado. É possível agora pôr os outros números 1, 3, 5 e 9 (Quadrado Amarelo), acompanhando a constante mágica.

**Quadro 1 – Resolução dos
 Quadrados Mágicos de ordem 3.**
 FONTE: elaboração dos autores

-	-	-	-	-	-	8	-	-
-	5	-	-	5	-	-	5	-
-	-	-	-	-	2	-	-	2

8	-	6	8	1	6
-	5	-	3	5	7
4	-	2	4	9	2

Resolução de um Quadrado Mágico de ordem 3, pela regra do cavalo: uma diferente configuração para construir o Quadrado Mágico de ordem 3 é utilizando a regra do cavalo, conforme o Quadro 2.

- ✓ Quadrado Amarelo: defina o número na casa do meio da fileira superior.
- ✓ Quadrado Verde: a partir do número 1, subindo uma fileira acima do número 1. Nota-se que o número 1 encontra-se na fileira superior, nesse caso deve-se continuar na fileira inferior. Em seguida, move-se uma coluna à direita, onde estará à casa do número 2.
- ✓ Quadrado Rosa: a partir do número 2, subindo uma fileira superior, a seguir movimenta-se uma coluna à direita, nesse caso desloca-se para coluna do lado esquerdo e coloca-se o número 3.
- ✓ Quadrado Laranja: do número 3, sobe-se uma fileira superior e move-se uma coluna à direita, como existe o número 1 na casa indicada, o próximo número estará na casa imediatamente abaixo do número 3, onde colocaremos o número 4.
- ✓ Quadrado Vermelho: para encontrar a casa do número 5, a partir do número 4, sobe-se uma fileira superior e move-se uma coluna à direita.
- ✓ Quadrado Branco: seguindo a regra do cavalo: do número 5, chega-se ao número 6.
- ✓ Quadrado Roxo: a partir do número 6, sobe-se uma fileira superior, nesse caso deve-se continuar na fileira inferior. Em seguida, move-se uma coluna à direita, nesse caso desloca-se para coluna do lado esquerdo, como existe o número 4 na casa indicada, o próximo número estará na casa imediatamente abaixo do número 6, onde alocaremos o número 7.
- ✓ Quadrado Azul: do número 7 e seguindo a regra do cavalo, similar ao quadrado rosa, chega-se ao número 8.
- ✓ Quadrado Marrom: a partir do número 8, sobe-se uma fileira superior, nesse caso deve-se continuar na fileira inferior. Em seguida, move-se uma coluna à direita e coloca-se o número 9.

**Quadro 3 – Resolução dos
 Quadrados Mágicos de ordem 5,
 pelo método do cavalo**
 FONTE: elaboração dos autores

<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></table>			1																							<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td></td></tr></table>			1																					2		<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td></td></tr></table>			1																	3									2		<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td></td></tr></table>			1																	3														2																										
		1																																																																																																																																													
		1																																																																																																																																													
			2																																																																																																																																												
		1																																																																																																																																													
				3																																																																																																																																											
			2																																																																																																																																												
		1																																																																																																																																													
				3																																																																																																																																											
			2																																																																																																																																												
<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>5</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td></td></tr></table>			1				5				4									3														2		<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>5</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td></td></tr></table>			1				5				4	6								3														2		<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td>5</td><td>7</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td></td></tr></table>			1				5	7			4	6								3														2		<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>1</td><td>8</td><td></td></tr><tr><td></td><td>5</td><td>7</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td></td></tr></table>			1	8			5	7			4	6								3														2	
		1																																																																																																																																													
	5																																																																																																																																														
4																																																																																																																																															
				3																																																																																																																																											
			2																																																																																																																																												
		1																																																																																																																																													
	5																																																																																																																																														
4	6																																																																																																																																														
				3																																																																																																																																											
			2																																																																																																																																												
		1																																																																																																																																													
	5	7																																																																																																																																													
4	6																																																																																																																																														
				3																																																																																																																																											
			2																																																																																																																																												
		1	8																																																																																																																																												
	5	7																																																																																																																																													
4	6																																																																																																																																														
				3																																																																																																																																											
			2																																																																																																																																												
<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>1</td><td>8</td><td></td></tr><tr><td></td><td>5</td><td>7</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td>3</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td>9</td></tr></table>			1	8			5	7			4	6								3														2	9	<table border="1"><tr><td></td><td></td><td>1</td><td>8</td><td></td></tr><tr><td></td><td>5</td><td>7</td><td></td><td></td></tr><tr><td>4</td><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td>3</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>2</td><td>9</td></tr></table>			1	8			5	7			4	6				1				3														2	9	...	<table border="1"><tr><td>17</td><td>24</td><td>1</td><td>8</td><td>15</td></tr><tr><td>23</td><td>5</td><td>7</td><td>14</td><td>16</td></tr><tr><td>4</td><td>6</td><td>13</td><td>20</td><td>22</td></tr><tr><td>10</td><td>12</td><td>19</td><td>21</td><td>3</td></tr><tr><td>11</td><td>18</td><td>25</td><td>2</td><td>9</td></tr></table>	17	24	1	8	15	23	5	7	14	16	4	6	13	20	22	10	12	19	21	3	11	18	25	2	9																																													
		1	8																																																																																																																																												
	5	7																																																																																																																																													
4	6																																																																																																																																														
				3																																																																																																																																											
			2	9																																																																																																																																											
		1	8																																																																																																																																												
	5	7																																																																																																																																													
4	6																																																																																																																																														
1				3																																																																																																																																											
			2	9																																																																																																																																											
17	24	1	8	15																																																																																																																																											
23	5	7	14	16																																																																																																																																											
4	6	13	20	22																																																																																																																																											
10	12	19	21	3																																																																																																																																											
11	18	25	2	9																																																																																																																																											

Sugestão de uma Prática Pedagógica com Quadrados Mágicos de ordem ímpar: Pensar Matematicamente

Os desafios matemáticos, particularmente os quadrados Mágicos, constituem uma estratégia metodológica bastante interessante para o desenvolvimento do pensamento matemático, pois é uma maneira de fortalecer a criatividade e aperfeiçoar a concepção de modelos complexos.

Escolher criteriosamente tarefas matemáticas valiosas com potencial para proporcionar aos alunos aprendizagens matemáticas sofisticadas, que vão além da aplicação de conceitos e treino de procedimentos — estes continuam a ter o seu papel, mas não esgotam a Matemática que os alunos precisam atualmente de aprender e a que têm direito (CANAVARRO, 2011, p. 16-17).

Acredita-se que metodologias provocativas, no sentido de desafiar, possam contribuir efetivamente para a construção de novos conhecimentos e saberes, e compete ao professor de matemática valorizar a disciplina, tornando-a prazerosa a fim de adequar o estudante a uma aprendizagem eficiente.

Compreendemos a prática pedagógica do professor de matemática, não como um processo linear, nem ordenado ou até mesmo constante, mas como imersa no paradigma da complexidade, onde o desafio está na oposição à regularidade, à constância, ao produto acabado (REDLING, 2011, p. 76).

Uma sugestão será apresentada como prática pedagógica, com quadrados Mágicos de ordem ímpar, que pode ser utilizada no ensino e aprendizagem de matemática na educação básica. A ideia é fazer com que os estudantes possam pensar matematicamente, partindo de uma atividade.

Atividade proposta: seja o conjunto de números naturais $A = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$. Escolhendo três números do conjunto, de quantas maneiras podemos obter soma 15? É possível distribuir todas as combinações possíveis em um quadrado de nove casas?

Pensar Matematicamente: percebe-se que essa atividade induz o estudante a pensar de quantas formas, com três números, posso conseguir formar uma soma 15. Após a determinação das combinações possíveis, tentará o aprendiz observar a possibilidade de distribuir essas sequências de três números no quadrado de nove casas.

Objetivo do exercício: localizar o Quadrado Mágico de ordem 3, pensando matematicamente.

Solução: tomando três números distintos entre 1 e 9, para formar soma 15, teremos as seguintes combinações: a) $1 + 5 + 9$; b) $1 + 6 + 8$; c) $2 + 4 + 9$; d) $2 + 5 + 8$; e) $2 + 6 + 7$; f) $3 + 4 + 8$; g) $3 + 5 + 7$; h) $4 + 5 + 6$. Nota-se que o número 5 se encontra em quatro combinações diferentes, logo deve ficar no centro. Duas das oito combinações têm apenas números ímpares e seis das oito combinações tem dois números pares. Para distribuir no quadrado de nove casas, se faz necessário que distribua as duas sequências de números ímpares na segunda coluna e na segunda fileira horizontal.

-	1	-
3	5	7
-	9	-

Percebe-se, conseqüentemente, que os números pares devem ficar nos cantos do quadrado, acompanhando corretamente a seqüência de combinações pré-estabelecidas.

8	1	6
3	5	7
4	9	2

Concluir-se afirmando que essa atividade transporta a curiosidade do aluno em querer buscar mais informações sobre Quadrados Mágicos com essa característica peculiar.

De acordo com Gadotti (2013), a aquisição do mesmo resultado numérico, ao serem executadas as somas dos algarismos de todas as colunas, linhas e diagonais, desperta uma curiosidade no sujeito envolvido, levando-o a efetivar diversos cálculos para a averiguação de tal propriedade dos quadrados mágicos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os quadrados mágicos compõem um extraordinário instrumento de ensino e aprendizagem de matemática, que fortalece a intuição e o desenvolvimento do raciocínio lógico do aprendiz, colaborando na compreensão de modelos matemáticos, frequentemente vistos como estruturas complexas.

Espera-se que a utilização de modelos matemáticos, em sala de aula, particularmente a construção de Quadrados Mágicos, possa acender motivação regular para o estudante prosseguir seus estudos em busca de respostas para suas inquietações sobre a adequada aplicação da matemática em sua vida. Uma sugestão que pode ser acatada para um novo trabalho seria um estudo da construção dos Quadrados Mágicos de ordem par.

REFERÊNCIAS

ANDREWS, W. S.. **Magic squares and cubes**. New York: Dover Publications, Inc., 1960.

CANAVARRO, A. P.. **Ensino exploratório da Matemática**: Práticas e desafios. 2011.

ELLENBERG, J.. **O poder do pensamento matemático**: a ciência de como não estar errado. Editora Schwarcz-Companhia das Letras, 2015.

GADOTTI, A. C. et al. **Quadrados Mágicos**, 2013.

Gardner, M. **Magic Squares**. New York: Simon and Schuster, 1961.

Kraitchik, M. **Magic Squares**. New York: Norton, 1942.

KRUSE, F.. Curiosidades Matemáticas. **Acta Scientiae**, v. 4, n. 1, p. 65-70, 2012.

PONTES, E. A. S.. Método de Polya para Resolução de Problemas Matemáticos: Uma Proposta Metodológica para o ensino e Aprendizagem de Matemática na Educação Básica. **HOLOS**, v. 3, p. 1-9, 2019.

PONTES, E. A. S.. Conceptual questions of a teacher about the teaching and learning process of mathematics in basic education. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 4, p. 784932, 2019.

REDLING, J. P.. **A Metodologia de Resolução de Problemas**: concepções e práticas pedagógicas de professores de matemática do ensino fundamental. 2011.

SANTINHO, M. S.; MACHADO, R. M.. **Os fascinantes Quadrados Mágicos**. 2006.

TEIXEIRA, R. E. C. Matrizes e Quadrados mágicos. **Tribuna das Ilhas**, p. 7, 2014

O ENSINO DOS FENÔMENOS ONDULATÓRIOS MECÂNICOS: UM ESTUDO SOBRE OS EXPERIMENTOS PROPOSTOS EM LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA DO ENSINO MÉDIO

KENIA REGINA STREICH¹

KIRSTI EMELI STREICH²

LUIZ FERNANDO M. MORESCKI JR.³

RESUMO

O livro didático é, por vezes, a única ferramenta disponível ao professor da rede pública de educação básica no Brasil. Esse fenômeno é ainda mais comum na disciplina de Física, que é ocasionalmente lecionada por professores com lacunas em sua formação ou, ainda, formados em outras áreas de conhecimento. Nesses casos, os docentes frequentemente veem no livro didático a solução para suas dificuldades, o que pode levá-los a limitarem-se ao uso dessa ferramenta pedagógica. Soma-se o que diversas pesquisas têm mostrado: o ensino e aprendizagem de Física tornam-se potencialmente mais significativos quando há a conciliação entre o cotidiano do estudante, a experimentação e o conteúdo trabalhado em sala de aula. Desse modo, a proposição de experimentos nos livros didáticos pode contribuir para a melhora no ensino de Física. À vista disso, este trabalho objetiva investigar os experimentos que envolvem os fenômenos ondulatórios mecânicos que são propostos nos livros didáticos de Física para o Ensino Médio, indicados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) de 2018. Para isso, utilizaram-se o método bibliográfico e o experimental, pois inicialmente realizou-se a prospecção de experimentos sobre ondulatória mecânica presentes nos livros didáticos analisados (tanto no livro do aluno, como no manual do professor); em seguida, esses procedimentos foram reproduzidos analisando-se a sua execução, a fim de estabelecerem-se considerações e observações sobre eles. Por fim, evidencia-se que a escolha apropriada do livro didático de Física para cada instituição escolar, visto que cada localidade possui suas especificidades, é um elemento importante para contribuir na qualidade do processo de ensino e aprendizagem.

Palavras-Chave: Ensino de Física; Ondulatória; Livro Didático.

INTRODUÇÃO

O comércio exterior tem expandido no Brasil com os métodos de compra e venda de produtos e serviços entre empresas e governos de diferentes países. Os acordos econômicos e políticos internacionais caracterizam e possibilitam melhores condições de negociações entre os mercados consumidores (importadores) e empresas fornecedoras (fabricantes/exportadores). As tendências do mercado internacional identificam as necessidades dos exportadores/fornecedores com as oportunidades de compra ou venda, elabora estratégias de negócios e define os procedimentos

1 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Estudante de licenciatura em Física, Campus Jaraguá do Sul/Centro, kenia.streich@gmail.com

2 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Estudante de licenciatura em Física, Campus Jaraguá do Sul/Centro, kirsti.streich@gmail.com

3 Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC), Professor de Física, Campus Jaraguá do Sul/Centro, luizm@ifsc.edu.br

logísticos. como frete, armazenagem e liberação em alfândegas dos produtos importados ou exportados.

No estudo de caso, foi analisada uma empresa que atua no ramo de navegação, nos seguintes segmentos: agenciamento marítimo, operações portuárias, manuseio de cargas e armazenagem, locação de equipamentos, logística internacional, serviços industriais e terminais (Terminal Logístico de Rio Grande, Terminal Logístico de Pelotas e Terminal Logístico de Guaíba). Será realizado um estudo de análise de falhas nas empilhadeiras de sete toneladas – GUB (terminal de Guaíba – RS) que fazem movimentação de carga de fardos de celulose.

O objetivo principal do estudo é a Implantação do FMEA no processo de manutenção de empilhadeiras de sete toneladas. Com o intuito de auxiliar o profissional na diminuição das falhas do processo, aumentar a confiabilidade do mesmo, desenvolver ações corretivas e preventivas para minimizar a ocorrência e consequência das falhas e garantir uma maior qualidade dos produtos.

Uma das ferramentas da qualidade mais utilizada para o tratamento das falhas do processo produtivo é denominada de “Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial”, originária do inglês *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), figurando como uma das ferramentas que se caracteriza pelo conjunto de atividades destinadas a identificar e minimizar e/ou eliminar falhas no processo (PALADY, 2007).

Segundo McDERMOTT *et al.* (2009), as organizações que usam de maneira adequada o FMEA diminuem seus custos e aumentam a satisfação dos seus clientes e quando compreendido e implantado de maneira correta, com o comprometimento das pessoas envolvidas, é uma ferramenta eficaz, assim como todas as outras ferramentas da qualidade.

INTRODUÇÃO

O livro didático que durante muito tempo foi um símbolo da soberania nacional (CHOPPIN, 2004) é um importante instrumento pedagógico que, segundo Siganski, Frison e Boff (2008, p. 1) vêm “assumindo um papel importante na práxis educativa, tanto como instrumento de trabalho do professor, quanto como único objeto cultural ao qual a criança tinha acesso no final do século XIX e início do século XX”. Os livros escolares podem assumir diferentes funções, as quais variam com “o ambiente sociocultural, a época, as disciplinas, os níveis de ensino, os métodos e as formas de utilização” (CHOPPIN, 2004, p.553). No Brasil, o livro didático foi instituído pelo Decreto-Lei nº 1.006 de 1938, que estabelece as condições de produção, importação e utilização desse material, além de criar a Comissão Nacional do Livro Didático (CNLD) com competência para a avaliação e pré-seleção dos livros, tendo como referência as Diretrizes Curriculares da época (BRASIL, 1938).

Em 1985 é criado o Programa Nacional de Livros Didáticos (PNLD) que tem como principal finalidade melhorar a qualidade do ensino básico, por meio da distribuição gratuita de livros didáticos (previamente aprovados) para a rede pública de educação. Observando-se a necessidade da participação dos docentes e das instituições de ensino na escolha dos livros que seriam adotados; criou-se em 1995 o Guia de Livros Didáticos, a partir do qual o governo avalia uma série de obras e seleciona-as com base na qualidade de suas abordagens teóricas e metodologias diferenciadas. Desse modo, o Guia de Livros Didáticos disponibiliza, a cada quatro anos, um conjunto de obras indicadas para cada disciplina escolar e é a partir disso que os professores do sistema público de educação podem escolher o livro que melhor se adapta ao seu contexto institucional e à realidade de seus estudantes (MENEZES; SANTOS, 2001; SANTOS, 2011). A partir de meados do século XX, o livro didático passa a ser considerado uma das principais e únicas ferramentas de auxílio para o professor e aluno da rede pública de educação (FRISON *et al.*, 2009).

Conforme defendem Santos e Martins (2011), a partir das décadas de 1970 e 1980 os livros didáticos assumiram um papel diferenciado, impulsionado pelo contexto educacional de desqualificação profissional frequente dos professores; tornando-se muitas vezes, uma ferramenta indispensável de trabalho. A importância atribuída ao livro didático em alguns contextos gera um

cenário no qual este determina os conteúdos que serão ensinados e as estratégias para isso. Entretanto, esse recurso didático não pode ser tomado como única ferramenta de formação/ensino, uma vez que nem sempre está conectado à realidade em que o aluno está inserido; ainda que seja considerado uma ferramenta agenciadora de conhecimentos capaz de estimular o aprendizado e a formação do senso crítico no estudante (SANTOS; MARTINS, 2011; SIGANSKI; FRISON; BOFF, 2008).

Estudos têm apontado que o ensino de Física se torna potencialmente mais significativo quando o conteúdo que está sendo ensinado em sala de aula é contextualizado e relacionado diretamente ao cotidiano do estudante, facilitando assim a visualização da aplicabilidade do que é estudado. Do mesmo modo, o uso de experimentos, além de ilustrar e reproduzir fenômenos estudados pode despertar maior interesse do estudante para aprender determinado conteúdo. Portanto, é desejável que os livros didáticos empregados no sistema público de educação tenham, inseridos em sua estrutura, algumas sugestões de atividades diferenciadas, como formas de contextualização dos conteúdos nele apresentados, pois se acredita que

O desenvolvimento de habilidades e o estímulo ao surgimento de novas aptidões tornam-se processos essenciais, na medida em que criam as condições necessárias para o enfrentamento das novas situações que se colocam. Privilegiar a aplicação da teoria na prática e enriquecer a vivência da ciência na tecnologia e destas no social passa a ter uma significação especial no desenvolvimento da sociedade contemporânea (BRASIL, 2000. p. 15).

Logo, o ensino de Ciências da natureza (Química, Física e Biologia) no Ensino Médio pode recorrer a diversos recursos para melhorar a aprendizagem, como por exemplo, a experimentação e a demonstração experimental. A pesquisa de Yabuki (2014) e de Pereira, Bezerra e Silva (2017) expõem que a experimentação agregada ao estudo de novos conceitos, facilita aos alunos maior compreensão, aprendizado e absorção do conteúdo trabalhado. Sendo assim, almeja-se que nos livros de Física do Ensino Médio, sejam sugeridas demonstrações e ensaios experimentais que possam auxiliar o professor no planejamento de uma aula dinâmica e proveitosa para ambas as partes (professor e estudante).

Conforme exposto por Neves (2015, p. 1) “muitas vezes, o conteúdo de Física é exposto de maneira repetitiva e com inúmeros exercícios que utilizam equações matemáticas, sem sentido aparente para o aluno, privilegiando a memorização e não seu raciocínio crítico”; fator este que aumenta o aborrecimento dos estudantes com a disciplina de Física. Dessa forma, acredita-se que as atividades experimentais aliadas aos saberes teóricos podem estimular a criatividade, a participação e a curiosidade dos alunos, além de prepará-lo para o enfrentamento e a resolução de problemas futuros, como a troca de um chuveiro, por exemplo.

Além disso, as atividades de demonstração podem servir como ótimo recurso para a ilustração de aspectos Físicos abstratos, tornando-os mais perceptíveis (ARAÚJO; ABIB, 2003). As atividades experimentais,

[...] podem ser enriquecidas adotando-se uma postura mais flexível, que possibilite a introdução de outros elementos e métodos, como discussões que propiciem reflexões críticas acerca dos fenômenos estudados e da estrutura de funcionamento dos equipamentos utilizados, bem como dos elementos e fatores que influenciam o experimento e que podem acarretar eventuais discrepâncias entre os resultados observados experimentalmente e as previsões teóricas que se pretendia verificar (ARAÚJO; ABIB, 2003. p. 181).

Partindo-se do pressuposto de que são apresentados procedimentos experimentais nos livros didáticos de Física usados na rede brasileira de educação pública, surge o questionamento: que experimentos são propostos sobre os fenômenos de ondulatória mecânica em livros didáticos de Física para o ensino médio, indicados pelo Programa Nacional de Livro Didático de 2018? Diante

disso, o objetivo deste estudo é investigar os experimentos pertinentes às ondas mecânicas propostos nos livros de Física do ensino médio selecionados pelo Programa Nacional de Livros Didáticos de 2018.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De acordo com Severino (2007, p.123), esta pesquisa é exploratória, visto que este tipo de estudo é caracterizado pelo levantamento de “informações sobre um determinado objeto, delimitando assim um campo de trabalho, mapeando as condições de manifestação desse objeto”. Na presente pesquisa, o objeto de estudo e de campo de trabalho são os experimentos existentes nos livros didáticos de Física do ensino médio propostos pelo PNLD de 2018.

Foram analisados os livros de volume 2 (dois) de todas as coleções sugeridas no Plano Nacional de Livros Didáticos de 2018 (PNLD 2018), totalizando, assim, 12 (doze) obras investigadas. Em cada Livro direcionado aos estudantes realizou-se uma busca direcionada aos experimentos existentes nos capítulos que tratavam sobre as ondas mecânicas. De maneira concomitante analisaram-se, também, os tópicos equivalentes aos capítulos (ondas mecânicas) no manual do professor. A Tabela 1 especifica os temas relativos às ondas mecânicas que foram analisados em cada um dos doze livros.

Tabela 1 – Fenômenos ondulatórios a serem explorados nos livros didáticos de Física do ensino médio. FONTE: Elaborado pelo autor com base em MARTINI et al, 2016.	Fenômeno ondulatório	Breve descrição
	Ondas em uma corda	Estuda o movimento de propagação de uma onda por intermédio de uma corda a partir de uma perturbação no meio (pulso).
	Ondas em superfícies líquidas	Estuda a propagação de uma onda sobre um plano líquido a partir de um pulso aplicado.
	Ondas Sonoras	Estuda o modo e o meio de propagação das ondas sonoras e como estas se comportam em determinadas situações com condições controladas.

Após a sondagem, os experimentos (que não demandavam a compra de material, visto que este é um dos motivos mais citados pelos professores como obstáculo para a execução de experimentos e demonstrações em sala de aula) encontrados nos livros foram reproduzidos e investigados. Já os experimentos que demandavam a aquisição de materiais foram analisados e avaliados com base na forma de apresentação no livro didático, ou seja, se havia: uma introdução ao experimento, a descrição do procedimento, a proposta de discussões e questionários. A partir das reproduções dos experimentos foi possível atribuir-lhes notas a partir da análise: do número de conceitos envolvidos na explicação do fenômeno evidenciado; do custo aproximado demandado pelo experimento; da disponibilidade dos materiais (facilidade de obtenção); e por fim, o tempo médio demandado para a execução.

A partir destes parâmetros foram realizadas considerações sobre possíveis melhoras e dificuldades encontradas durante a reprodução dos ensaios sugeridos nos livros, ponderando-se, também, sobre a forma de apresentação, discussões e contextualizações dos procedimentos. Portanto, cada experimento recebeu uma nota entre 1 e 4 (sendo a nota 4 excelente, nota 3 bom, nota 2 regular e a nota 1 ruim) equivalente a cada parâmetro. A partir dessas notas, calculou-se uma média aritmética que foi considerada a nota final do ensaio.

Entende-se por um experimento viável, portanto, aquele que possui: custo acessível (ou mesmo nenhum custo); materiais de fácil localização e compra; e que demande tempo médio de desenvolvimento não superior a 35 minutos. A justificativa para a escolha do tempo limite de trinta e cinco minutos deve-

se ao fato de que a duração das aulas do ensino médio são de 40min (noturno) ou 45min (diurno) e é interessante que o experimento seja realizado completamente em apenas uma aula.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da exploração dos livros de Física sugeridos no PNLD 2018, foi possível observar grande variedade e quantidade de experimentos que envolvem os fenômenos de ondas mecânicas, como pode ser observado na Tabela 2. Dessa forma, a partir da enumeração dos experimentos nos livros, coletaram-se os dados necessários sobre cada proposta, e depois às suas repetições.

Tabela 2 – Número total de experimentos encontrados em cada livro de Física.

Autores do Livro*	Nº do livro	Nº de Experimentos	
		Livro do Aluno	Guia do professor
BARRETO; XAVIER	1	6	0
GONÇALVES FILHO; TOSCANO	2	0	0
VÁLIO et al.	3	4	1
GASPAR	4	3	0
GALTER; DOCA; BÔAS	5	3	2
POGIBIN et al.	6	4	0
MÁXIMO; ALVARENGA; GUIMARÃES	7	2	0
TORRES, et al.	8	2	2
BONJORNO, et al.	9	3	2
CARRON; GUIMARÃES; PIQUEIRA.	10	2	3
FUKE; KAZUHITO.	11	1	2
MARTINI, et al.	12	2	1
TOTAL	12	32	13

*As referências completas dos livros podem ser encontradas nas Referências Bibliográficas.

FONTE: Elaborado pelo autor.

Como pode ser observado na Tabela 2, foi encontrado um total de quarenta e cinco experimentos/demonstrações em todos os livros de Física (tanto no livro do aluno como no guia do professor) recomendados pelo PNLD 2018, sendo que vários experimentos são semelhantes, ou mesmo iguais, mas localizados em livros diferentes. Desse modo, o número de experimentos, sem considerarem-se as repetições, foi de 31 em relação ao total. Destaca-se ainda que somente um livro (Livro 2) não apresentou nenhuma sugestão de prática experimental (seja no livro do aluno ou no manual do professor), o que pode ser explicado pela inexistência de um capítulo sobre ondas mecânicas, uma vez que esse livro possui apenas um capítulo dedicado às ondas eletromagnéticas.

Importa destacar que os experimentos e sugestões existentes no guia do professor não são acessíveis aos estudantes, e tem como objetivo auxiliar o docente no planejamento de uma aula. Chama a atenção o fato de existirem experimentos apresentados nos livros dos alunos que são retomados no guia do professor, mas com uma abordagem mais profunda, a qual explica os fenômenos de cada etapa do experimento; os fenômenos que são observados; e as suas explicações científicas. Quando há a sugestão de um questionário ou discussão no experimento do livro do aluno, o manual traz as respostas das perguntas e propõe como o professor pode proceder na discussão do procedimento.

Análise dos livros

Todos os livros foram analisados da mesma forma, contudo, o objetivo desta seção é citar as considerações mais relevantes feitas sobre alguns experimentos.

O livro 3 possui, em sua estrutura, subdivisões destinadas à experimentação, chamadas de “Seção Laboratório”, onde são apresentadas descrições detalhadas dos procedimentos necessários para a realização do ensaio que é proposto no tópico. Aponta-se também, como diferencial desta obra, o levantamento de questões para discussão, investigação e reflexão direcionadas aos experimentos e à teoria que os explica e fundamenta. Algumas das demonstrações experimentais localizadas neste livro foram: “produzindo ondas na água com lápis”; “produzindo ondas na água com uma régua”; “produzindo ondas na água com ventilador”; “telefone com fio”. De modo geral, estes procedimentos são simples, mas quando trabalhados de maneira crítica (como o livro sugere ao propor questões de reflexão), a aprendizagem pode tornar-se mais significativa.

Observou-se, durante a análise dos capítulos de ondulatória mecânica nos livros didáticos de Física, que o uso de experimentos simples para a criação de ondas sobre a água é contextualizado com as ondas do oceano, ou com a perturbação na água quando se joga uma pedra na lagoa. Além disso, foi possível verificar-se que o experimento de produção de ondas mecânicas na água foi apresentado na maioria dos livros estudados.

O livro 5 discorre sobre três experimentos; em cada uma das propostas há uma lista de questionamentos que devem ser respondidos no decorrer da prática, além das situações problema que promovem reflexão e esforço do estudante. Entende-se que a proposição dessas atividades atreladas ao experimento promove o melhor aproveitamento do ensaio. O guia do professor desse livro, por sua vez, apresenta tópicos denominados “Algo a mais”, nos quais são descritos possíveis experimentos e demonstrações que o professor pode realizar em sala de aula como forma de ilustração do conteúdo que está sendo lecionado, mas também como forma de elucidação de dúvidas. Já o Livro 9 sugere, no decorrer do conteúdo, possíveis demonstrações, as quais podem ser fundamentais para que o estudante compreenda de maneira concreta o fenômeno que está sendo estudado. O cálculo da velocidade do som no ar, por exemplo, pode ser realizado a partir do uso de materiais recicláveis, partindo-se deste livro como fundamento. O guia do professor, por sua vez, cita um exemplo que o professor pode utilizar em sala de aula para ilustrar um fenômeno abstrato: enfileirando-se um jogo de dominós e em sequência dando um leve empurrão na primeira peça da fila, se iniciará o movimento de queda sequencial de todas as peças. O uso deste exemplo pode ser feito para demonstrar que o transporte de energia através da propagação de uma onda mecânica não transporta matéria necessariamente, pois a energia aplicada na primeira peça foi transferida até a última, mas durante o processo a primeira peça (matéria) não se moveu para outra posição.

O livro de número 12 apresenta seu capítulo sobre ondas mecânicas, com duas possíveis demonstrações. A primeira é o estudo da refração de ondas em líquidos, que pode ser verificada utilizando-se uma cuba/bacia com duas profundidades diferentes. Através desse experimento, é possível observar que, na região mais funda, a distância entre as cristas das ondas é menor, ou seja, a frequência de propagação das ondas é maior na região mais profunda em relação

à região mais rasa. Já a segunda sugestão experimental consiste na utilização de uma mola simples, como as do tipo Slinky (mola de brinquedo) para as visualizações da propagação de pulsos (perturbações) em meios materiais e para a formação de ondas estacionárias. Destaca-se ainda, que no guia do professor deste livro, a importância da experimentação/demonstração/investigação é reforçada na discussão de tópicos denominados “Investigar é preciso – Atividade Experimental”, nos quais são apresentadas diversas alternativas de simuladores on-line de experimentos e fenômenos, o que contribui para o uso da tecnologia (tão presente na vida dos jovens) na escola.

A partir da análise dos livros, especialmente na seção dedicada à orientação dos professores, se constatou que a experimentação é defendida como ponto chave para a compreensão de conteúdos abstratos por parte dos estudantes, como pode ser evidenciado na citação a seguir, extraída do manual do professor do livro 7:

as atividades experimentais podem desempenhar funções essenciais na construção e absorção do conhecimento, além de desenvolver capacidades de investigação. É de grande importância para o estudante observar, elaborar hipóteses, estimar, medir, avaliar, comparar e interpretar dados e resultados, para apropriar-se do processo científico (MÁXIMO; ALVARENGA; GUIMARÃES, 2017. p. 268).

Além disso, se verificou que, na maioria dos livros, os ensaios sugeridos referem-se a situações ou fenômenos do cotidiano do aluno e do professor, o que contribui diretamente para a interpretação e contextualização de conteúdos, pois o estudante, por si só, consegue relacionar o que é estudado com uma situação conhecida de sua vida pessoal.

Na Figura 2, podemos observar a aplicação do FMEA, com a função, a descrição das falhas funcionais (vazamento, clamps sem força, equipamentos sem conseguir ligar), os modos de falha (filtros com vazamento de óleo, contaminação devido o vazamento do óleo, não há força nas empilhadeiras para levantamento dos fardos e tampa do filtro do ar quebrado) e os efeitos das falhas (indisponibilidade de utilização do equipamento, ação corretiva para os equipamentos onde se torna oneroso para a empresa).

Análises dos experimentos

O Quadro 1 apresenta a relação dos experimentos encontrados nos livros didáticos de Física estudados, as suas respectivas notas e o local (Livro do aluno ou Manual do professor) em que o procedimento foi encontrado.

Quadro 1 – Relação dos experimentos sobre ondulatória mecânica analisados.

Experimento	Livro do aluno	Manual do professor	Nota Final
Propagação de ondas sonoras na água utilizando um gerador de ondas	X		2
Notas musicais a partir de tubos com diferentes níveis de água (repetiu 3x)	X	X	4
Visualização de ondas sonoras a partir de um diafragma caseiro	X		4
Telefone com fio (repetiu 6x)	X		4
Identificação de vales e cristas		X	3
Propagação de ondas em uma bacia de água (repetiu 3x)		X	4
Ondas Estacionárias	X		3
Sino com copo de plástico	X		4
Materiais básicos para o estudo de ondas e som		X	2
Determinação da velocidade do som no ar		X	3
Demonstração de refração de ondas (repetiu 2x)	X		4
Verificação do fenômeno de ressonância	X		4
Estudando os tubos sonoros	X		4
Molas, cordas e cuba de ondas (repetiu 2x)		X	4
Propagação através de diferentes materiais (repetiu 2x)	X		4
Molas para demonstração de ondas (repetiu 2x)		X	4
Demonstração de frente de ondas com uma bacia	X		4
Calculando a velocidade do som no ar	X		2
Transporte de energia sem o transporte de matéria: dominó (repetiu 2x)	X	X	4
Oscilação de uma régua	X		4
Investigue você mesmo: Chocalho	X		3
Transmissão de vibração de um corpo para outro		X	3
Corda Vibrante	X		2
Reflexão, refração e difração de ondas		X	4
Interferência de ondas		X	4
Ondas estacionárias com uma mola		X	4
Mas afinal, o que é uma onda?	X		4
Difração de ondas	X		4
Ondando corda	X		4
Propagação de ondas sonoras através de diferentes materiais	X		3
Construa seu próprio relógio de pêndulo		X	3

FONTE: Elaborado pelo autor.

Ressalta-se que a nota final atribuída a cada experimento partiu de sua reprodução e posterior avaliação com base em quatro parâmetros (custo, tempo de execução, acessibilidade aos materiais necessários e a quantidade de conceitos relacionados).

Experimentos como: o telefone com fio, a demonstração de fenômenos ondulatórios com molas e em cubas d'água, a observação dos fenômenos de ressonância a partir de instrumentos musicais, foram citados e descritos em vários livros (Quadro 1). Os experimentos analisados, de uma maneira geral, abrangem os seguintes conceitos: o que é amplitude, frequência, comprimento de onda; a reflexão, refração e difusão das ondas sonoras; a produção de diferentes notas musicais; quais as características de uma onda mecânica; propagação das ondas sonoras em diferentes materiais; produção de ondas estacionárias, etc.

Esta seção do artigo não tem como objetivo explicar e discutir todos os experimentos encontrados nas obras analisadas, apenas alguns dos procedimentos mais citados e de simples montagem e execução. Diante disso, a Figura 1 mostra a reprodução do experimento para observação da propagação de ondas mecânicas em superfícies líquidas, como no caso da imagem 1^a; enquanto a 1B demonstra que a propagação dessas ondas na água transporta energia, mas a matéria (rolha de cortiça). Através deste ensaio, podem ser explorados e explicados os conceitos de crista, vale, frente de onda, frequência, comprimento de onda, interferência etc.



A Figura 2, por sua vez, exibe os registros da reprodução de um experimento que relaciona o comprimento livre da régua com a frequência de suas oscilações (Figura 2A) quando sujeita a uma perturbação em sua extremidade. Na Figura 2B pode-se observar que o comprimento livre de régua é menor do que na Figura 2C. Como consequência, quando a ponta livre da régua sofre uma perturbação será possível verificar que no caso da Figura 2B a frequência (número de oscilações por unidade de tempo) de oscilação será maior do que no caso da Figura 2C que terá frequência menor. Desse modo, este simples procedimento pode auxiliar na explicação de conceitos de amplitude e frequência.

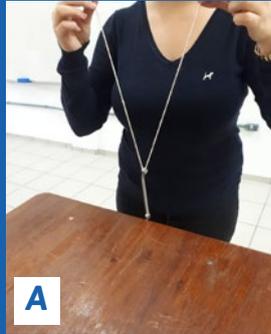


A Figura 3 retrata três experimentos diferentes, mas com um objetivo comum: evidenciar e verificar a propagação do som (ondas sonoras) em cordas (meios materiais). O primeiro deles (3A) consiste em bater um metal (suspenso por um barbante), contra uma superfície rígida, como uma mesa, por

exemplo. Deve-se provocar o impacto entre o metal e a mesa, atentando-se para o som emitido. Posteriormente, repete-se o procedimento de colisão, mas desta vez com as pontas dos barbantes – no qual o metal está preso – posicionadas próximo dos ouvidos. O som ouvido por ambos os processos é distinto, uma vez que, sem aproximar-se o barbante dos ouvidos, o som que chega aos ouvidos é propagado predominantemente através do ar e, no ato de aproximarem-se as pontas do fio das orelhas, o som ouvido é sobretudo o propagado através do cordão.

Figura 3 - Experimentos de propagação de ondas sonoras.

FONTE: Arquivo do autor.



A
A - Sons do impacto de um metal em uma superfície rígida



B
B - Sino com materiais recicláveis



C
C - Telefone com fio

O procedimento mostrado na Figura 3B consiste na produção de um sino a partir de materiais recicláveis. O funcionamento desse aparato baseia-se no mesmo princípio do experimento retratado na Figura 3A, uma vez que, com o auxílio de um arame metálico, provoca-se uma colisão entre os metais. Este choque gera um som específico, que é propagado pelo ar e por intermédio do cordão. Quando se achega o ouvido perto do copo do sino, o som fica mais intenso. Por fim, o experimento da Figura 3C é um telefone com fio, conhecido popularmente por ser um brinquedo de fácil construção. O funcionamento desse aparato está fundamentado na propagação do som que é produzido no interior de um dos copos (por uma criança, por exemplo), para o copo da outra extremidade por meio do barbante de conexão. O copo serve como um amplificador do som emitido por uma pessoa numa das extremidades e posteriormente transmitido pelo cordão para a outra. Salienta-se que alguns ensaios foram reproduzidos de forma adaptada, como no caso do experimento de tubos sonoros. O livro que sugere esse experimento propõe que o mesmo seja realizado com tubos de ensaio e nestes sejam adicionados diferentes volumes de água a fim de que quando uma pessoa assoprar no tubo sejam produzidas notas musicais diferentes para cada nível de água. O mesmo procedimento, entretanto, pode ser desenvolvido substituindo-se os tubos de ensaio por garrafas PET de 500ml, como demonstrado na Figura 4, visto que cada garrafa emite um som diferente quando um indivíduo assopra em seu gargalo.

Figura 4 - Adaptação do experimento de tubos sonoros utilizando-se garrafas PET.

FONTE: Arquivo do autor.



Retomando-se os dados apresentados no Quadro 1, verifica-se que a maioria dos procedimentos localizados nos livros didáticos de Física obtiveram a maior nota (quatro). Esse resultado deve-se ao fato de que esses experimentos expõem diversas potencialidades, além de serem de fácil reprodução em um ambiente escolar. Os fatores: demandar pouco tempo para a execução, custo baixo e materiais que podem ser reciclados ou de fácil aquisição possibilitam o emprego da maioria desses ensaios em sala de aula. Além disso, tendo em vista a simplicidade das práticas, estas podem ser desenvolvidas pelo próprio estudante em sua residência. Evidencia-se também que, apesar de alguns experimentos terem obtido notas inferiores (dois e três), não houve nenhum com a nota mínima, o que demonstra que o emprego destes procedimentos em sala de aula é possível, em alguns casos com maior necessidade de planejamento do que em outros.

A partir da reprodução dos experimentos, foi possível se verificar que brincadeiras infantis viram atividades experimentais ilustrativas, objetivando que o estudante possa compreender o que ocorre no uso de um telefone com fio, por exemplo, e como se dá a propagação de ondas mecânicas nesses aparatos. Tais cenários contribuem positivamente para despertar o interesse e a curiosidade de crianças e adolescentes sobre os fenômenos Físicos e suas explicações enriquecendo ainda mais o processo de ensino-aprendizagem. Contudo, deve-se tomar o cuidado para que a experimentação não se torne um show de demonstrações, levando o estudante a acreditar que o estudo da Física se resume a estas atividades. Desse modo, cada oportunidade de experimentação deve proporcionar a exposição e o estudo da maior quantidade possível de conhecimento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de experimentos e demonstrações para a ilustração e elucidação de fenômenos físicos é fundamental na educação básica, uma vez que estes promovem a contextualização do que é estudado. A realização de práticas experimentais aliadas a questionamentos que provoquem a investigação e reflexão do estudante sobre o assunto, auxilia no desenvolvimento de sua autonomia e aprendizagem.

Para o professor, o uso de experimentos como uma ferramenta pedagógica auxiliar pode apresentar-se utópica frente à escassez de recursos e investimentos governamentais e institucionais, além de pouca motivação. Contudo, as práticas sugeridas nos livros estudados, mostram que existem alternativas viáveis para a realização de demonstrações e investigações em sala de aula, pois se constatou que há experimentos que não tem custo, pois os materiais necessários são reciclados e que, ainda assim, podem promover ricas discussões e aprendizados.

Desse modo, pode-se concluir que os livros selecionados pelo PNLD 2018 (exceto o Livro de Gonçalves Filho e Toscano) para o ensino de Física na Educação Básica brasileira são satisfatórios no que tange à sugestão de experimentos, demonstrações e investigações, no que se refere ao conteúdo de ondas mecânicas. Ainda que nem todos os livros proponham problemáticas e contextualizações sobre os experimentos, o professor é capaz de aprimorar (sem grandes esforços), o procedimento prático para que se adapte ao método: Prever – Observar e Explicar sugerido por Souza (2011). O método proposto por Souza (2011) para a experimentação é a realização de três passos principais: prever o que vai acontecer no experimento levantando-se hipóteses; observar e visualizar o que ocorre durante a execução do experimento; e explicar que consiste em se discutir se os resultados obtidos corroboram ou não com as hipóteses iniciais. Em caso negativo, os estudantes devem propor explicações e justificativas para o que foi observado.

Considerando-se que o livro didático é em alguns lugares a única ferramenta pedagógica disponível ao professor e ao estudante da rede pública de educação básica, entende-se que no momento de sua escolha, a partir das indicações do PNLD, seja para a disciplina de Física ou não, o professor deve levar em consideração o contexto político, social e cultural em que a sua instituição está inserida. Desse modo, deve-se dar importância ao nível de conhecimento em que os estudantes se encontram; o método que lhes possibilita melhor aprendizagem; e a formação e nível de conhecimento do professor.

Diante disso, os livros que apresentam mais proposta de atividades experimentais, podem apresentar-se como uma ótima alternativa para uma escola que possua poucos recursos (financeiros, materiais ou humanos), visto que este trabalho evidenciou que os procedimentos experimentais sugeridos nos livros didáticos são simples e podem ser reproduzidos com o auxílio de materiais de fácil acesso.

Apesar disso, percebe-se uma carência de propostas experimentais que retratem a forma como a ciência é construída, fator este que entendemos ser imprescindível para que o estudante compreenda como o mundo científico e tecnológico molda a nossa realidade e influencia nossas vidas.

Por fim, importa destacar que o uso de experimentos na disciplina de Física deve fazer parte do currículo escolar, pois é dessa forma que essa área científica se desenvolve; contudo, para que isso se torne factível, é necessário um investimento maior de tempo, dinheiro, dedicação da instituição escolar, do aluno e do professor frente a experimentação ilustrativa e científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de Física: Diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003.

BARRETO, B.; XAVIER, C.. Física aula por aula: **Termologia, Óptica e ondulatória**. v. 2, 3. ed. São Paulo: FTD, 2016.

BÔAS, N. V.; DOCA, Ricardo H.; BISCOLOLA, Gualter J. Física: **Termologia, ondulatória e óptica**. v. 2, 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

BONJORNO, J. R. et al. Física: termologia, óptica e ondulatória. v. 2, 3. ed. São Paulo: FTD, 2016.

BRASIL. **Decreto N° 1006, de dezembro de 1938**. Condições de produção, importação e utilização do livro didático. Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 1938. Disponível em: <http://www2.camara.leg.br/legin/fed/decllei/1930-1939/decreto-lei-1006-30-dezembro-1938350741-publicacaooriginal-1-pe.html>, acesso em 05 de dezembro de 2017.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Ensino Médio. 2000. Disponível em: < HYPERLINK "http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/14_24.pdf" http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/14_24.pdf >, acesso em 23 mai. 2019.

CHOPPIN, A.. História dos livros e das edições didáticas: sobre o estado da arte. **Educação e Pesquisa**. v. 30, n. 3, p. 549-566, 2004.

FRISON, M. D. et al. Livro Didático como instrumento de apoio para a construção de propostas de ensino de ciências naturais. **In: VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação de Ciências**. Santa Catarina: Florianópolis, 2009.

GASPAR, A.. Compreender a Física: **ondas, óptica e termodinâmica**. v. 2, 3. ed. São Paulo: Editora Ática, 2016.

GONÇALVES FILHO, A.; TOSCANO, C.. Física: **Interação e Tecnologia**. v. 2, 2. ed. São Paulo: Leya, 2016.

GUIMARRÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W.. Física: **Física térmica, ondas e óptica**. v. 2, 2. ed. São Paulo: Ática, 2016.

MARTINI, G. et al. Conexões com a Física: **Estudo do calor, óptica geométrica e fenômenos ondulatórios**. v. 2, 3. ed. São Paulo: Moderna, 2016.

MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B.; GUIMARÃES, C.. **Física**: Contexto e aplicações. Volume 2. 2ª edição. São Paulo: Scipione, 2016.

MENEZES, E. T.; SANTOS, T. H.. Verbete PNLD (Programa Nacional do Livro Didático). **Dicionário Interativo da Educação Brasileira — Educabrazil**. São Paulo: Midiamix, 2001. Disponível em: <<http://www.educabrazil.com.br/pnld-programanacional-do-livro-didatico/>>. Acesso em: 05 dez. 2018.

NEVES, J. H. M.. **O uso de experimentos, confeccionados com materiais alternativos, no processo de ensino e aprendizagem de Física:** Lei de Hook. Dissertação (Mestrado). MNPEF – São Paulo: Presidente Prudente, 2015.

PEREIRA, A. B. B.; BEZERRA, C. J. S.; SILVA, O.. **Uso da experimentação para o ensino de Física:** um relato de experiência na dilatação linear. 2016. Disponível em: < HYPERLINK "http://loos.prof.ufsc.br/files/2016/03/USO-DA-EXPERIMENTAÇÃO-PARA-O-ENSINO-DE-FÍSICA-UM-RELATO.pdf" http://loos.prof.ufsc.br/files/2016/03/USO-DA-EXPERIMENTA%C3%87%C3%83O-PARA-O-ENSINO-DE-F%C3%8DSICA-UM-RELATO.pdf>, acesso em 23 mai. 2019.

POGIBIN, A. et al. Física em contextos. v.2, 1ed. São Paulo: Editora do Brasil, 2016.

SANTOS, V. A.; MARTINS, L. A importância do livro didático. Candombá – **Revista Virtual**. v.7, n. 1, p. 20-33, jan/dez 2011.

SEVERINO, A. J.. **Metodologia do trabalho científico**. 23 ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SIGANSKI, B. P.; FRISON, M. D.; BOFF, E. T. O. O livro didático e o ensino de ciências. In: XIV Encontro Nacional de Ensino de Química. Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2008.

SOUZA, A. R.. **Experimentos em ondas mecânicas**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro: Rio de Janeiro, 2011.

TORRES, C. M. A. et al. Física, ciência e Tecnologia: **Termofísica, óptica e ondas**. v.2, 4ed. São Paulo: Moderna, 2016.

VÂLIO, A. B. M. et al. **Ser protagonista:** Física. V.2, 3ed. São Paulo: SM, 2016.

YABUKI, Y.. **A arte de ensinar a Física pela Experimentação no 9º ano – Ensino Fundamental**. Monografia (Especialização). Universidade Tecnológica Federal do Paraná: Medianeira, 2014.

YAMAMOTO, K.; FUKU, L. F.. Física para o Ensino Médio: **termologia, óptica e ondulatória**. v.2, 4ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

RTC
REVISTA
TÉCNICA
CIENTÍFICA
DO IFSC



INSTITUTO FEDERAL
Santa Catarina