

Melhores Trabalhos

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

Organizadores:

**Antônio Wendell de Oliveira Rodrigues
Exedito Wellington Chaves Costa
Ícaro Dias Diógenes
Maria do Socorro de Assis Braun
Wilami Teixeira da Cruz**

Ministério da Educação
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - IFCE
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação



**Congresso Internacional Virtual de Pesquisa,
Pós-graduação e Inovação do IFCE**

Melhores Trabalhos

Ciências Exatas e da Terra

Fortaleza, 2022

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO CEARÁ – IFCE**

Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação – PRPI

Reitor

Jose Wally Mendonça Menezes

Pró-reitora de Ensino

Cristiane Borges Braga

**Pró-reitor de Administração
e Planejamento**

Reuber Saraiva de Santiago

Pró-reitora de Extensão

Ana Claudia Uchôa Araújo

**Pró-reitora de Pesquisa,
Pós-graduação e Inovação**

Joélia Marques de Carvalho

Pró-reitor de Gestão de Pessoas

Marcel Ribeiro Mendonça

**FUNDAÇÃO DE APOIO AO ENSINO, A PESQUISA E A EXTENSÃO
DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO CEARÁ - FAIFCE**

Presidente

Ernani Andrade Leite

**CONGRESSO INTERNACIONAL VIRTUAL DE PESQUISA E
INOVAÇÃO DO IFCE - CONINP**

Presidente

Ícaro Dias Diógenes

Membros

Antônio Wendell de Oliveira Rodrigues

Expedito Wellington Chaves Costa

Maria do Socorro de Assis Braun

Maria Laênia Teixeira Alves

Maria Elizabeth Santos Soares

Renato Teixeira Moreira

Marco Henrique de Brito Mudo

Igor Moraes Paim

Wilami Teixeira da Cruz

EXPEDIENTE

Organizadores

Antônio Wendell de Oliveira Rodrigues

Expedito Wellington Chaves Costa

Ícaro Dias Diógenes

Maria do Socorro de Assis Braun

Wilami Teixeira da Cruz

Capa

Julio Pio Monteiro

© 2022 Aliás Editora

© 2022 Instituto Federal do Ceará

Edição Executiva

Anna K. Lima

Isabel Costa

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará**

Congresso Internacional Virtual de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação do IFCE.
Melhores Trabalhos: E-book 4 – Ciências exatas e da terra. / Organizador: Antônio
Wendell de Oliveira Rodrigues. (et. al.) --. Fortaleza: IFCE, 2022.

91 p. il.

E-book no formato PDF 7.834 KB

ISBN: 978-65-86800-32-6

1. Química. 2. Física. 3. Geociências. I. Rodrigues, Antônio Wendell de Oliveira (Org.).
II. Costa, Expedito Wellington Chaves Costa (Org.). III. Diógenes, Ícaro Dias (Org.). IV.
Braun, Maria do Socorro de Assis (Org.). V. Cruz, Wilami Teixeira da (Org.). VI.
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará. VII. Título.

SUMÁRIO

BIOSSORÇÃO DE ÍONS CROMO POR FIBRA DE CANA-DE-AÇÚCAR	7
CONGRUÊNCIA MODULAR E OS SISTEMAS DE IDENTIFICAÇÃO	26
DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOEMULSÕES CONTENDO EXTRATOS DE SEMENTES DE NONI SENDO DESTINADAS A REVESTIMENTO ANTICORROSIVO	38
ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DA SUB-BACIA DO MÉDIO JAGUARIBE - CE	52
PROPOSTA EXPERIMENTAL DE MEDIÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA ATRAVÉS DA TEMPERATURA	63
USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DA ESPÉCIE PISTIA STRATIOTES COMO BIOINDICADORES DE POLUIÇÃO NO RIO APODI/MOSSORÓ - RN	77

BIOSSORÇÃO DE ÍONS CROMO POR FIBRA DE CANA-DE-AÇÚCAR

CHROMIUM IONS BIOSORPTION USING SUGAR CANE FIBRES

Francisco Eduardo Holanda Lima
Mestrando na Universidade Federal do Ceará, Brasil

Mariano George Sousa Vieira
Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará-IFCE, Brasil
mariano.vieira@ifce.edu.br

RESUMO

Vários métodos são empregados no tratamento de resíduos de metais pesados que demandam algum investimento e inserem outros reagentes ao meio. Métodos de baixo custo sem materiais com potencial de formação de novos resíduos tornam-se importantes ambiental e economicamente. A bioissorção atua como ferramenta na resolução de tais problemas empregando matéria vegetal, na remoção de íons em solução. O objetivo desse trabalho foi analisar a capacidade de retenção ($cr_{\%}$) da fibra de cana-de-açúcar (FCA) sobre o Cr^{6+} em soluções aquosas. Para a análise da bioissorção de FCA utilizou-se um Planejamento Fatorial Completo 2^3 com Ponto Central. Os resultados mostraram boa correlação com a literatura que $cr_{\%}$ de 40% para o Cr^{6+} . A elaboração da superfície de resposta com três variáveis para otimização do experimento, resultou em condições ótimas pH entre 3,0 e 4,6; m_{FCA} entre 0,40 e 0,50 g e c_i entre $3,6 \times 10^{-5}$ e $5,2 \times 10^{-5}$ mol/L

Palavras-chave: Fibras vegetais. Tratamento de efluentes. Biossorvente

ABSTRACT OR RESUMEN

Several methods are used in the treatment of heavy metal residues that require some investment and insert other reagents into the medium. Low cost methods without materials with the potential to form new waste become important environmentally and economically. Biosorption acts as a tool in solving such problems using plant material, in removing ions from solution. The objective of this work was to analyze the retention capacity ($cr_{\%}$) of the sugar cane fiber (SCF) on Cr^{6+} in aqueous solutions. For the analysis of the biosorption of SCF a Complete Factorial Planning 2^3 with Central Point was applied. The results showed a good correlation with the literature with $cr_{\%} = 40\%$ for Cr^{6+} . The elaboration of the response surface with a three-variable to optimize the experiment, resulted in optimal pH conditions between 3.0 and 4.6; m_{FCA} between 0.40 and 0.50 g and c_i between 3.6×10^{-5} and 5.2×10^{-5} mol / L.

Keywords: Vegetal fibers. Effluent treatment. Biosorbent.

1. INTRODUÇÃO

Desde o desenvolvimento da Química como uma ciência em que o homem passou a resolver os problemas do dia a dia através da observação de fatos e da experimentação, presume-se que ele ainda não tinha total conhecimento dos danos que a mesma poderia causar. Acontecimentos históricos como a invenção da bomba atômica ou o acidente na Usina Nuclear de Chernobil em 1986 mostraram para a humanidade o poder destrutivo que o uso inadequado da ciência também pode oferecer.

Não tão diferente disso, com o desenvolvimento tecnológico advindo da união de séculos de estudos e evolução científica também surgiu outros problemas: a geração de resíduos se tornou ainda mais intensa e fatos como a Revolução Industrial acelerou ainda mais esse processo. Assim, atualmente há grande necessidade em se tratar desse assunto e propor medidas que minimizem ou até mesmo acabe com os efeitos causados ao meio ambiente por tais resíduos.

A geração desses resíduos pode se dar em fábricas, indústrias, instituições de ensino, de forma doméstica, na agricultura, enfim, que se torna preocupante pelo volume gerado e por sua diversidade.

Segundo os dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), cada pessoa gerou 378 kg de resíduos no ano de 2017. Além de estar ciente dos dados é importante conhecer também como os resíduos podem ser classificados no geral em função de sua natureza, composição, periculosidade e origem, podendo, dessa forma, ter noção dos problemas que a eles estão associados e posteriormente propor medidas corretas. Assim, classificam-se como: a) resíduos classe I - perigosos; b) resíduos classe II - não perigosos; resíduos classe II A - não inertes; resíduos classe II B - inertes (BRASIL, 2004).

Dentre esses, os mais preocupantes são os resíduos classe I. Para ser classificado dessa forma o resíduo precisa: apresentar riscos ao ambiente; apresentar pelo menos uma das características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade (ROCHA, 2009). Em termos gerais um determinado resíduo é caracterizado como inflamável quando seu ponto de fulgor, ou ponto de inflamação, é inferior a 60 °C; corrosivo se apresentar pH inferior ou igual a 2, ou superior ou igual a 12,5; reativo se reagir violentamente com a água, como é o caso dos metais alcalinos em que sua reação com a água libera grandes quantidades de energia; tóxico se for letal ao homem e patogênico se portar microrganismos patogênicos ou proteínas virais (BRASIL, 2004).

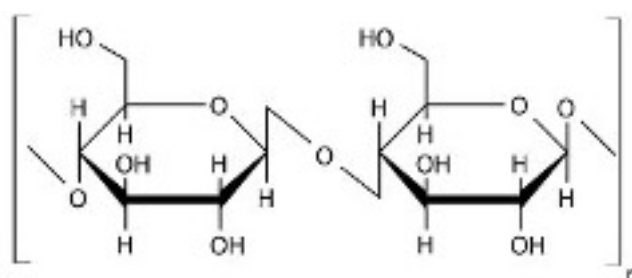
O tratamento dessa matéria residual muitas vezes demanda de procedimentos sofisticados e grande custo financeiro, no qual nem sempre as empresas possuem os equipamentos adequados ficando inviável, por exemplo, tratá-los e dar uma destinação correta. Com isso, é de grande importância, e foco do presente trabalho, que as instituições de ensino busquem métodos que visem essas finalidades naqueles que são gerados nos próprios laboratórios, já que dificilmente se encontra parcerias com empresas que atendam a necessidades mais exigentes.

Muitas vezes tal procedimento não é aplicado de imediato pelo desconhecimento da metodologia de neutralização de determinada substância ou simplesmente imprudência humana. Assim prefere-se jogar toda a solução reagente no ralo da pia achando que somente a diluição com água resolverá a situação. No entanto, outros problemas podem surgir a partir do escoamento indevido, como a corrosão da tubulação, envenenamento de plantas e animais que habitam nas proximidades, além de contaminação de lençóis freáticos.

São vários os métodos empregados no tratamento de resíduos de metais pesados, dentre eles destacam-se os tradicionais: precipitação, coagulação, redução, troca iônica e adsorção. Entretanto, a utilização desses demanda muitas vezes de um grande investimento durante o processo além da inserção de outros reagentes ao meio (SILVA *et al.*, 2014). A biossorção está inserida nesse cenário como uma ferramenta essencial na busca da resolução de tais problemas. É uma técnica que emprega o uso de matéria biológica de origem vegetal, as fibras, por exemplo, na remoção por afinidade de espécies catiônicas ou aniônicas em solução.

Do ponto de vista químico, as fibras são formadas pelas interações entre as moléculas de celulose, proporcionadas pelas ligações de hidrogênio entre os grupos hidroxila dos monômeros de glicose, como pode ser observado na Figura 1 (SANTOS *et al.*, 2001).

Figura 1 — Estrutura da Celulose



Fonte: Brasil Escola - UOL

Em soluções contendo o cromo, por exemplo, as fibras podem interagir com o metal por diferentes mecanismos: complexação, coordenação, quelação, troca iônica, adsorção e precipitação. No entanto, o que o determinará será a natureza das espécies utilizadas, a origem da biomassa e a maneira como foi processada (SILVA *et al.*, 2014).

Desse modo, o objetivo desse trabalho foi o de analisar a capacidade de retenção ($cr_{\%}$) de cromo (VI) de soluções aquosas da fibra de cana-de-açúcar (FCA), material abundantemente encontrado na região Nordeste do Brasil.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Metais e a saúde.

No corpo humano os metais desempenham papel importante mesmo estando em concentrações muito baixas e são fundamentais para o bom funcionamento do organismo. O ferro, por exemplo, está presente na Hemoglobina ajudando no transporte de oxigênio pela corrente sanguínea e sua carência pode causar anemia ferropriva. Outro metal importante é o cobre, e o desequilíbrio na sua concentração está associado a graves problemas de saúde, tais como doença de Menkes (deficiência de cobre) e de Wilson (acumulação de cobre) (SHRIVER & ATKINS, 2008). O cromo potencializa os efeitos da insulina, responsável por captar a glicose no sangue, levando-a para dentro das células. A falta desse metal pode ocasionar resistência à ação da insulina, impedindo-a de captar a glicose (FIORINI, 2008). Com isso percebe-se que alterações significativas na concentração de metais no organismo podem causar sérios danos à saúde, uma vez que estão relacionados a moléculas importantes tais como as proteínas.

Na natureza esses e outros metais se encontram de diferentes formas variando desde seu estado de oxidação a outros elementos aos quais estão associados, sendo que os essenciais a saúde podem ser obtidos através da alimentação. Entretanto, esse estado natural vem sendo modificado ao longo do tempo pela ação do homem, já que a geração de resíduos tóxicos como perigosos e o descaso ambiental se torna mais recorrente. São cerca de 2,9 milhões de toneladas de origem industrial geradas anualmente no Brasil e apenas 850 mil toneladas recebem tratamento correto (SILVA *et al.*, 2013).

O descarte incorreto desses resíduos é preocupante. Uma vez descartados na natureza, podem poluir o solo, a água e entrar na cadeia trófica causando os mais diversos danos à saúde dependendo da quantidade e do tempo que é ingerida. Dentre

os problemas mais diagnosticados estão: enxaqueca, náuseas, diarreias, vômitos, depressão, letargia, perturbação neurológica, danos ao fígado e aos rins, dentre outros (SANTANA & LIMA, 2010).

O cromo é um metal que se enquadra nos resíduos perigosos classe I por apresentar riscos a saúde. Portanto, propor medidas que evite o descarte incorreto deste torna-se muito importante visto que se trata de um reagente muito utilizado em muitos laboratórios de ensino e pesquisa na forma de dicromato de potássio, $K_2Cr_2O_7$.

2.2. O uso de fibras vegetais como bioissorvente.

É rica a literatura sobre o tratamento de resíduos contendo metais pesados utilizando fibras de origem vegetal ou microrganismos por bioissorção. Dentre as matérias-primas utilizadas encontram-se: pó da casca de laranja, banana e milho; tamarindo; bagaço de caju; fibra do coco; musgos e algas (SILVA & PIRES, 2014). Segundo (CHOJNACKA & MIKULEWICZ, 2019), em 2018 já haviam sido publicados mais de 13.000 artigos sobre bioissorção, demonstrando o grande interesse científico quanto aos seus estudos e aplicações.

Tal método se torna importante porque difere dos tradicionais em alguns quesitos, como, por exemplo, a possibilidade do bioissorvente usado e carregado com os metais poder ser incinerado em temperaturas moderadas e depositado em aterros reduzindo o volume do efluente original convertido em estado sólido. Além disso o bioissorvente pode ser regenerado e é possível também recuperar o metal por métodos tradicionais como a eletroquímica (SILVA *et al.*, 2013).

Além de serem utilizadas para o tratamento de efluentes, as fibras têm aplicações também no enriquecimento de biomassa em elementos nutricionalmente significativos usando a biomassa como transportadora na alimentação de animais e nutrição de plantas. Assim, é possível usar a bioissorção na produção de suplementos alimentares e fertilizantes (CHOJNACKA & MIKULEWICZ, 2019).

3. METODOLOGIA

3.1. Obtenção da Fibra de cana-de-açúcar.

A fibra de cana-de-açúcar (FCA) foi obtida num engenho de rapadura localizado no Sítio Pitanga, região pertencente a cidade de Ubajara, originada dos processos de moagem. A fibra foi então lavada com água destilada e em seguida foi triturada

em liquidificador industrial e posteriormente mantida em estufa da marca LIMATEC a 70°C por 24h.

3.2. Quantificação de Cr (VI) em solução

A técnica utilizada para analisar a $cr_{\%}$ de Cr (VI) da solução pela FCA foi a espectroscopia UV-vis. Utilizou-se um espectrofotômetro YOKE-N6000/N6000PLUS em dois comprimentos de onda: 256 e 351 nm, por se tratar das melhores faixas de absorção no UV-vis para o dicromato (VEKISQUEZ *et al.*, 2010).

Para o cálculo da concentração de cromo da solução pós bioissorção empregam-se as equações da reta obtidas a partir de curvas de calibração nos seus respectivos pH's. Com isso é possível relacionar as concentrações das soluções antes e pós bioissorção e descobrir a $cr_{\%}$ real do experimento através da seguinte equação (COSTA *et al.*, 2017):

$$cr_{\%} = \frac{\text{maior concentração} - \text{menor concentração}}{\text{maior concentração}} \times 100 \quad (1)$$

Para calcular o efeito na $cr_{\%}$ entre as mudanças dos níveis dentro do experimento, é utilizada ideia semelhante:

$$cr_{\%} = \frac{\text{maior absorbância} - \text{menor absorbância}}{\text{maior absorbância}} \times 100 \quad (2)$$

3.3. Procedimentos para bioissorção.

Para análise da eficiência da remoção do Cr em solução pela fibra é necessário a estabilização das espécies presentes, visto que o $Cr_2O_7^{2-}$ e o CrO_4^{2-} estão em equilíbrio dinâmico. Para isso ajustou-se o pH da solução para 4, 5 e 6 com solução tampão B-R, pois há predominância de $Cr_2O_7^{2-}$ em $pH < 5$ e de CrO_4^{2-} em $pH > 8$. A importância da utilização da solução tampão se dá também em virtude da possibilidade do fenômeno de bioissorção originar hidróxidos na superfície da fibra, o que poderia ocasionar um erro nas medidas de absorbância (SILVA *et al.*, 2013). Foram preparadas as curvas de calibração em uma faixa de concentrações de $2,00 \times 10^{-5}$ a $8,00 \times 10^{-5}$ mol/L nos respectivos pH's tamponados. Em todos os processos de bioissorção desse trabalho utilizou-se 50,0 mL de solução para cada experimento.

Tanto as soluções contendo Cr (VI) quanto o branco foram deixados em contato com a FCA sob agitação por 24h. Após isso, as soluções foram filtradas com papel filtro e medidas suas absorbâncias.

3.4. Planejamento experimental e análise estatística de dados.

Neste trabalho foi utilizado o Planejamento Fatorial Completo 2^3 com Ponto Central como desenho experimental (TEÓFILO & FERREIRA, 2006) a fim de obter resultados quanto aos efeitos causados na bioissorção pelas mudanças nas variáveis selecionadas: pH, massa de FCA (m_{FCA}) e concentração inicial de Cr (VI), fixando-se o tempo em 24 horas para todos os experimentos. Foram realizados 11 experimentos sem replicatas com 3 repetições no ponto central. Consideramos os experimentos executados nessa etapa como uma triagem, de modo a conhecermos melhor o sistema dentro de determinada faixa de trabalho.

As interações significativas ($p < 0,05$) entre as variáveis, foram consideradas para a elaboração da superfície de resposta com o Planejamento Composto Central.

Os resultados obtidos a partir dos experimentos de triagem permitiram determinar os fatores significativos para a bioissorção. Dessa forma, foram realizados 17 experimentos sem replicatas com 3 repetições no ponto central. Em seguida, gráficos de superfície de resposta foram construídos através dos coeficientes obtidos pelo planejamento composto central, permitindo otimizar os valores que irão produzir a melhor resposta para a bioissorção, ou seja, quais as condições experimentais que possibilitam uma maior remoção de íons Cr (VI) da solução analisada.

Para o desenho das matrizes experimentais (planejamento fatorial e planejamento composto central) e análise de variância (ANOVA) utilizou-se planilhas elaboradas em Microsoft Excel pelo Laboratório de Quimiometria Teórica e Aplicada – Unicamp (LQTA), disponíveis na página do grupo (TEÓFILO & FERREIRA, 2006).


4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Planejamento fatorial completo 2^3 com ponto central (256 nm)

A partir do Planejamento Fatorial Completo 2^3 com Ponto Central foi possível observar que pH (X_1), massa de FCA (X_2) e concentração inicial de Cr (VI) (X_3), foram 95% significativas para a bioissorção de cromo (Tabela 1). O maior efeito observado aparece para a variável c_i (X_3), 0,3105. Isso quer dizer que a concentração inicial é o fator que apresenta o maior impacto sobre a capacidade bioissorção de FCA. De fato, como a

absortividade molar do Cr (VI) é maior em 256 nm, de acordo com a Lei de Lambert-Beer, qualquer variação positiva de c_i resultará em maior absorção da solução. É importante destacar que a variável m_{FCA} apresenta efeito negativo (-0,1090) para o experimento mostrando que o aumento da massa da fibra causa diminuição na absorbância, efeito justificado pelo aumento dos sítios de bioadsorção e consequente maior interação com os íons Cr (VI). Segundo o modelo, também foi possível observar que o aumento do pH da solução também causa diminuição da absorbância, pois tem efeito negativo (-0,0350). Esse fato entra em desacordo com a literatura estudada pois, para o dicromato, foi observado que a absorbância aumenta com o aumento do pH (MOREIRA *et al.*, 2014). Adicionalmente, interação entre as três variáveis ($X_1X_2X_3$) também se mostrou significativa tendo efeito negativo (-0,0555).

Tabela 1 — Efeitos significativos (SG) da bioadsorção de Cr (VI) por FCA obtidos a partir do Planejamento Fatorial Completo 2^3 com Ponto Central em 256 nm.

Variáveis e interações		Efeitos		Erro	**t (3)	p
SG*	Média	0,4357	±	0,0046	93,7600	3E-06
SG	X₁	-0,0350	±	0,0108	3,2110	0,0489
SG	X₂	-0,1090	±	0,0108	10,0000	0,0021
SG	X₃	0,3105	±	0,0108	28,4900	9E-05
SG	X₁X₂X₃	-0,0555	±	0,0108	5,0920	0,0146
Nível de significância (α)					0,05	

Conforme as condições utilizadas no processo de bioadsorção apresentadas na Tabela 2, as absorbâncias das soluções de Cr (VI) variaram de 0,209 (pH = 4; m_{FCA} = 0,3 g; c_i = $4,0 \times 10^{-5}$ M) a 0,649 (pH = 6; m_{FCA} = 0,1 g; c_i = $8,0 \times 10^{-5}$ M), representando uma variação percentual de 38,87% (46,71% - 7,84%). Os pontos centrais para as três respostas apresentaram uma pequena variação, o que indica boa reprodutibilidade do processo.

Tabela 2 — Planejamento Fatorial Completo 2^3 com Ponto Central em 256 nm decodificado.

Planejamento 256nm				Respostas	Estimadas	Erro de ajuste	Erro relativo (%)
Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	Y	\hat{y}	y- \hat{y}	$((y-\hat{y})/y)*100$
1	4	0,1	4,0E-05	0,3790	0,3820	-0,0030	-0,7920
2	6	0,1	4,0E-05	0,2730	0,2760	-0,0030	-1,0990
3	4	0,3	4,0E-05	0,2090	0,2120	-0,0030	-1,4350
4	6	0,3	4,0E-05	0,2490	0,2520	-0,0030	-1,2050
5	4	0,1	8,0E-05	0,6480	0,6510	-0,0030	-0,4630
6	6	0,1	8,0E-05	0,6490	0,6520	-0,0030	-0,4620
7	4	0,3	8,0E-05	0,5650	0,5680	-0,0030	-0,5310
8	6	0,3	8,0E-05	0,4900	0,4930	-0,0030	-0,6120
9	5	0,2	6,0E-05	0,4360	0,4360	0	0,0000
10	5	0,2	6,0E-05	0,4610	0,4360	0,0250	5,4230
11	5	0,2	6,0E-05	0,4340	0,4360	-0,0020	-0,4610

O modelo se ajusta bem aos dados experimentais visto que 99,76% da variação dos dados observados podem ser explicadas por regressão linear. Isso pode ser percebido também no erro relativo entre os ensaios que foi baixo. Além disso o valor F calculado foi altamente significativo (136) visto que seu valor tabelado para essas condições é 8,89 (Tabela 3).

Tabela 3 — Análise por ANOVA para o Planejamento Fatorial Completo 2^3 com Ponto Central em 256 nm.

Análise de Variância - Modelo Linear						
*FV	**SQ	°nGL	°*MQ	°°Fcalc.	SG	P
Regressão	0,2260	7	0,0320	136	SG	0,0010
Resíduos	7E-04	3	2E-04			
F. Ajuste	3E-04	1	3E-04	1,149		0,3960
Erro Puro	5E-04	2	2E-04			
Total	0,1920	10				
% variação explicada				117,8		
% máx. de variação explicável				99,76		

Notas: *Fonte de variação. **Soma quadrática. °Graus de liberdade.

°*Média quadrática. °°Teste F (distribuição de Fisher).

4.2. Planejamento Fatorial Completo 2^3 com Ponto Central (351nm).

Para esse Planejamento foi observado que as variáveis X_2 e X_3 também foram significativas (95% SG), apresentando boa concordância principalmente nos efeitos da m_{FCA} nos diferentes λ com aumento de 52,45% na $cr_{\%}$ na mudança do nível entre os ensaios 1 e 3 (Tabela 4). No entanto, nem a interação de terceira ordem ($X_1X_2X_3$), nem X_1 (pH) foram significativas como as observadas em 256 nm, conforme mostrado na tabela 5.

Tabela 4 — Planejamento Fatorial Completo 2^3 com Ponto Central em 351 nm decodificado.

Planejamento 351nm				Respostas	Estimadas	Erro de ajuste	Erro relativo (%)
Ensaio	X_1	X_2	X_3	Y	\hat{y}	$y-\hat{y}$	$((y-\hat{y})/y)*100$
1	4	0,1	4,0E-05	0,2440	0,2340	0,0100	4,0980
2	6	0,1	4,0E-05	0,2210	0,2110	0,0100	4,5250
3	4	0,3	4,0E-05	0,1160	0,1060	0,0100	8,6210
4	6	0,3	4,0E-05	0,1320	0,1220	0,0100	7,5760
5	4	0,1	8,0E-05	0,4270	0,4170	0,0100	2,3420
6	6	0,1	8,0E-05	0,4960	0,4860	0,0100	2,0160
7	4	0,3	8,0E-05	0,3590	0,3490	0,0100	2,7860
8	6	0,3	8,0E-05	0,3480	0,3380	0,0100	2,8740
9	5	0,2	6,0E-05	0,2280	0,2830	-0,0550	-24,1230
10	5	0,2	6,0E-05	0,2750	0,2830	-0,0080	-2,9090
11	5	0,2	6,0E-05	0,2650	0,2830	-0,0180	-6,7920

Tabela 5 — Efeitos significativos (SG) da bioissorção de Cr (VI) por FCA obtidos a partir do Planejamento Fatorial Completo 2^3 com Ponto Central em 351 nm.

Variáveis e interações	Efeitos	Erro	t (3)	p	
SG	<i>Média</i>	0,28282	± 0,0112	25,0900	0,0001
SG	X_2	-0,10825	± 0,0264	4,0950	0,0263
SG	X_3	0,22925	± 0,0264	8,6720	0,0032

Ainda conforme a Tabela 4 é possível observar a variação que ocorre entre o menor valor de absorvância 0,116 (pH = 4; $m_{FCA} = 0,3$; $c_i = 4,0 \times 10^{-5}$) e o maior 0,496 (pH = 6; $m_{FCA} = 0,1$; $c_i = 8,0 \times 10^{-5}$) das soluções de Cr (VI). Em termos de porcentagem, isso representa variação de 28,6% (57,55% - 28,95%) na capacidade bioissorviva da FCA.

4.3 Planejamento Experimental Composto Central 2^3 (256nm)

Os valores experimentais das variáveis pH, m_{FCA} e c_i de acordo com seus respectivos níveis são apresentados na Tabela 6. As respostas obtidas em cada ensaio podem ser obtidas na Tabela 7, que mostra que os valores de absorvância aparecem entre 0,0370 (pH = 6; $m_{FCA} = 0,2$ g; $c_i = 4,00 \times 10^{-5}$ M) e

0,7890 (pH = 5; $m_{FCA} = 0,3 \text{ g}$; $c_i = 9,36 \times 10^{-5} \text{ M}$). Os pontos centrais para esse planejamento são representados pelos ensaios 15, 16 e 17 e podem ser consultados também na Tabela 7.

Tabela 6 — Níveis utilizados para o Planejamento Experimental Composto Central 2_3 (256nm).

Variáveis		Níveis				
		-1,68179	-1	0	1	1,68179
X ₁	pH	3,32	4	5	6	6,68
X ₂	m_{FCA} (g)	0,13	0,2	0,3	0,4	0,47
X ₃	c_i (mol/L)	2,64E10 ⁻⁵	4,00 E10 ⁻⁵	6,00 E10 ⁻⁵	8,00 E10 ⁻⁵	9,36E10 ⁻⁵

Tabela 7 — Planejamento Experimental Composto Central 2^3 (256nm) decodificado e efeitos.

Planejamento				Resp.	Estim.	Erro de ajuste	Erro relativo (%)
Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	y	\hat{y}	y- \hat{y}	$((y-\hat{y})/y)*100$
1	4	0,2	4,00 E10 ⁻⁵	0,1770	0,1269	0,0500	28,3000
2	6	0,2	4,00 E10 ⁻⁵	0,0370	0,0625	-0,0250	-69,1000
3	4	0,4	4,00 E10 ⁻⁵	0,1140	0,0668	0,0472	41,4000
4	6	0,4	4,00 E10 ⁻⁵	0,1540	0,1200	0,0340	22,0700
5	4	0,2	8,00 E10 ⁻⁵	0,3460	0,4236	-0,0780	-22,5000
6	6	0,2	8,00 E10 ⁻⁵	0,2610	0,3518	-0,0909	-34,8000
7	4	0,4	8,00 E10 ⁻⁵	0,3010	0,3191	-0,0180	-6,0200
8	6	0,4	8,00 E10 ⁻⁵	0,2710	0,3648	-0,0938	-34,6100
9	3.32	0,3	6,00 E10 ⁻⁵	0,1270	0,1489	-0,0219	-17,2700
10	6.68	0,3	6,00 E10 ⁻⁵	0,2170	0,1332	0,0837	38,6000
11	5	0,13	6,00 E10 ⁻⁵	0,2050	0,1404	0,06458	31,5000
12	5	0,47	6,00 E10 ⁻⁵	0,0980	0,1007	-0,0028	-2,8300
13	5	0,3	2,64 E10 ⁻⁵	0,1040	0,1879	-0,0839	-80,6700
14	5	0,3	9,36 E10 ⁻⁵	0,7890	0,6433	0,1457	18,4700
15	5	0,3	6,00 E10 ⁻⁵	0,1610	0,1645	-0,0035	-2,2000
16	5	0,3	6,00 E10 ⁻⁵	0,1540	0,1645	-0,0105	-6,8400
17	5	0,3	6,00 E10 ⁻⁵	0,1680	0,1645	0,00346	2,0600

Analisando os ensaios 11 e 12 nos quais há mudança do nível mais baixo (-1,68179) para o mais alto (+1,68179) de m_{FCA} (0,13 para 0,47 g) nota-se o aumento na $cr_{\%}$ em 52,2%, resultado semelhante àqueles observados nos ensaios 1 e 3 do Planejamento Fatorial Completo 2^3 com Ponto Central.

Os resultados da análise de variância (ANOVA) mostram que o modelo se ajusta aos dados experimentais obtidos a partir da Tabela 8. Podemos observar que o F calculado (4,208) é significativo ($p = 0,03567$) tendo seu valor acima do tabelado (3,68) e que 84,40% da variação pode ser explicada conforme os valores apresentados

na Tabela 10. Como F é significativo, é possível dizer que não há diferença significativa entre os grupos de dados estudados.

Foram significativos os fatores lineares e quadráticos da massa de fibra (m_{FCA}) e concentração inicial de solução (c_i). O pH não se mostrou significativo dentro do intervalo de dados trabalhados. Interações de segunda ordem entre $c_i \times m_{FCA}$ e $m_{FCA} \times pH$ mostraram nível de 95% de significância conforme é apresentado na Tabela 9.

Tabela 8 — Análise por ANOVA para o Planejamento Experimental Composto Central 2^3 (256 nm).

Análise de Variância - Modelo Quadrático						
FV	SQ	nGL	MQ	Fcalc.		p
Regressão	0,3790	9	0,0421	4,2082	SG	0,0356
Resíduos	0,0700	7	0,0100			
F. Ajuste	0,0699	5	0,0140	285,4720	SG	0,0035
Erro Puro	1E-04	2	5E-05			
Total	0,4490	16				
% variação explicada				84,40		
% máx. de variação explicável				99,98		

Tabela 9 — Efeitos significativos (SG) da biossorção de Cr (VI) por FCA obtidos a partir do Planejamento Experimental Composto Central 2^3 (256 nm).

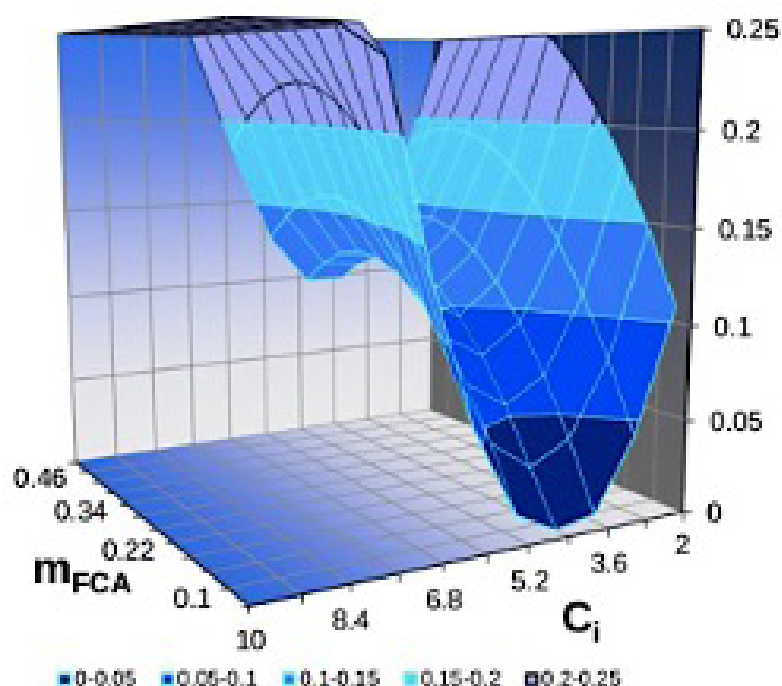
	Variáveis e interações	Efeitos	Erro		t (2)	p
SG	X_0	0,1645	±	0,0040	40,7920	0,0006
SG	X_2	-0,0117	±	0,0020	6,2220	0,0249
SG	X_3	0,1353	±	0,0020	71,4780	0,0002
SG	X_2X_2	-0,0155	±	0,0020	7,4510	0,0175
SG	X_3X_3	0,0887	±	0,0020	42,5760	0,0006
SG	X_1X_2	0,0293	±	0,0020	11,8690	0,0070
SG	X_2X_3	-0,0111	±	0,0020	4,4950	0,0461

Tabela 10 — Níveis para o Planejamento Experimental Composto Central 2^3 (351nm).

Variáveis		Níveis				
		-1,68179	-1	0	1	1.68179
X_1	pH	3,32	4	5	6	6,68
X_2	m_{FCA} (g)	0,13	0,2	0,3	0,4	0,47
X_3	c_i (mol/L)	$2,64 \times 10^{-5}$	$4,00 \times 10^{-5}$	$6,00 \times 10^{-5}$	$8,00 \times 10^{-5}$	$9,36 \times 10^{-5}$

Com o pH fixado em 6, o gráfico de superfície de resposta $m_{FCA} \times c_i$ (Figura 2) mostra que para concentrações de cromo na faixa de $3,6 \times 10^{-5}$ a $5,2 \times 10^{-5}$ M e m_{FCA} entre 0,10 e 0,22 g a absorvância deverá ser menor do que 0,05 nm. Segundo os cálculos, nessas condições seria obtido aproximadamente 80% de retenção de Cr pela FCA. O gráfico de superfície de resposta revela como a resposta varia muito com a c_i . O coeficiente negativo para o gráfico se deve a variável X_2 , mostrando que para otimização da resposta deve-se utilizar níveis baixos para c_i e níveis mais altos para a massa de fibra.

Figura 2 — Superfície de resposta da absorção de Cr (IV) por FCA (pH = 6,0)



4.4. Planejamento Experimental Composto Central 2^3 (351nm).

Os valores das variáveis selecionadas para o experimento bem como seus respectivos níveis são apresentados na Tabela 10. As respostas obtidas a partir do modelo, que variam de 0,0200 (pH = 6; $m_{FCA} = 0,2$; $c_i = 4,00 \times 10^{-5}$) a 0,1860 (pH = 4; $m_{FCA} = 0,2$; $c_i = 8,00 \times 10^{-5}$), podem ser consultadas na Tabela 11.

Tabela 11 — Planejamento Experimental Composto Central 2³ (351 nm) decodificado e efeitos.

Ensaio	Planejamento			Resp.	Estim.	Erro de ajuste	Erro relativo (%)
	X ₁	X ₂	X ₃	y	\hat{y}	y- \hat{y}	$((y-\hat{y})/y)*100$
1	4	0,2	4,00 E10 ⁻⁵	0,0810	0,06598	0,0150	18,5430
2	6	0,2	4,00 E10 ⁻⁵	0,0200	0,05241	-0,0324	-162,0500
3	4	0,4	4,00 E10 ⁻⁵	0,0210	0,00762	0,0134	63,7140
4	6	0,4	4,00 E10 ⁻⁵	0,0680	0,07005	-0,0021	-3,0150
5	4	0,2	8,00 E10 ⁻⁵	0,1860	0,16628	0,0197	10,6020
6	6	0,2	8,00 E10 ⁻⁵	0,1560	0,15171	0,0043	2,7500
7	4	0,4	8,00 E10 ⁻⁵	0,1240	0,07391	0,0501	40,3950
8	6	0,4	8,00 E10 ⁻⁵	0,1380	0,13534	0,0027	1,9280
9	3,32	0,3	6,00 E10 ⁻⁵	0,0370	0,07029	-0,0333	-89,9730
10	6,68	0,3	6,00 E10 ⁻⁵	0,1520	0,11053	0,0415	27,2830
11	5	0,3	6,00 E10 ⁻⁵	0,1420	0,12183	0,0202	14,2040
12	5	0,47	6,00 E10 ⁻⁵	0,0450	0,05899	-0,0140	-31,089
13	5	0,3	2,64 E10 ⁻⁵	0,0210	0,02079	0,0002	1,0000
14	5	0,3	9,36 E10 ⁻⁵	0,1110	0,16003	-0,0490	-44,1710
15	5	0,3	6,00 E10 ⁻⁵	0,0750	0,09041	-0,0154	-20,5470
16	5	0,3	6,00 E10 ⁻⁵	0,0730	0,09041	-0,0174	-23,8490
17	5	0,3	6,00 E10 ⁻⁵	0,0870	0,09041	0,0034	-3,9200

Para esse modelo é possível explicar 75,72% das variações entre os experimentos, um pouco menos precisa que a anterior, mas ainda com F calculado (5,19875) significativo ($p = 0,0113$), sendo o valor de F tabelado igual à 3,22 para esse grau de liberdade com nível de significância 0,05 (Tabela 12). Desse modo, é possível afirmar que não há diferença significativa na precisão entre os grupos de dados estudados.

Tabela 12 — Análise por ANOVA para o Planejamento Experimental Composto Central 2³ (351 nm)..

Variáveis		Níveis				
		-1,68179	-1	0	1	1,68179
X ₁	pH	3,32	4	5	6	6,68
X ₂	m _{FCA} (g)	0,13	0,2	0,3	0,4	0,47
X ₃	c _i (mol/L)	2,64x10 ⁻⁵	4,00x10 ⁻⁵	6,00x10 ⁻⁵	8,00x10 ⁻⁵	9,36x10 ⁻⁵

É possível observar nos ensaios 2, 3 e 9 uma tendência que tal modelo não se ajusta bem para respostas mais baixas, uma vez que os erros relativos foram os mais altos dentre os experimentos.

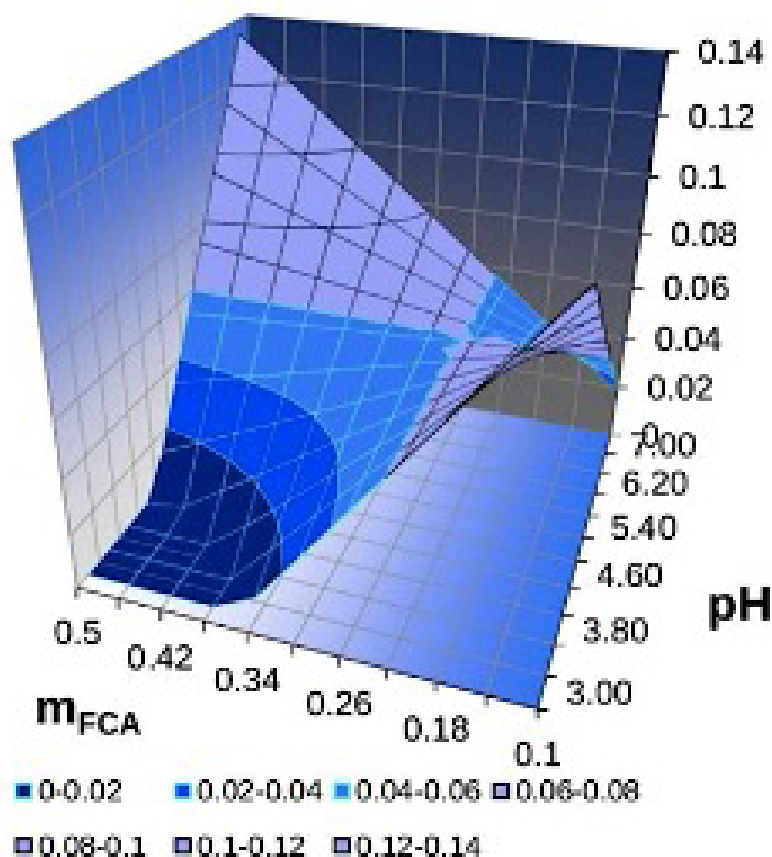
Para este modelo todas as variáveis foram 95% significativas (Tabela 15), assim como a interação de segunda ordem pH x m_{FCA} , tendo seus valores de p bem abaixo do nível de significância (0,05). Vale ressaltar que para esse modelo a variável X_1 teve efeito positivo (0,0120), comportamento diferente daquele visto no planejamento fatorial em 256 nm. Contudo, nesse caso assemelha-se ao encontrado na literatura.

Tabela 15 — Efeitos significativos (SG) da biossorção de Cr (VI) por FCA obtidos a partir do para o Planejamento Experimental Composto Central 2^3 (351 nm).

	Variáveis e interações	Efeitos	Erro		t (2)	p
SG	X_0	0,0904	±	0,0018	49,232	0,0004
SG	X_1	0,0120	±	0,0020	5,8397	0,0280
SG	X_2	-0,0190	±	0,0020	9,1178	0,0118
SG	X_3	0,0414	±	0,0020	20,204	0,0024
SG	X_1X_2	0,0190	±	0,0026	7,0973	0,0193

Já o gráfico da Figura 3 mostra a relação pH x m_{FCA} no qual é possível observar uma boa região de mínimo no gráfico para uma absorbância menor do que 0,04 nm. Para massas de 0,40 a 0,50 g o pH deve estar na faixa de 3,0 a 4,6. De fato, a literatura diz que a retenção de metal aumenta quando o pH aumenta de 3,0 para 5,0 (ABBAS, H. S. *et al.*, 2014). Segundo os cálculos (1) e (2), para essas condições ótimas seria obtido cerca de 90% de $cr_{\%}$. Diante disso pode-se dizer que o meio ácido proporciona ativação dos grupos adsorventes da fibra tornando o processo de biossorção mais eficiente.

Figura 3— Superfície de resposta da absorção de Cr (VI) por FCA a 351 nm ($c_i = 4,0 \times 10^{-5}$).



5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Os resultados obtidos no presente trabalho, principalmente aqueles alcançados pelo modelo linear da superfície de resposta em 351nm, mostram boa relação com o observado na literatura. Nas referências (COSTA *et al.*, 2017; STADELLA *et al.*, 2003) nas quais foi utilizado o cromo na sua forma catiônica, o aumento do pH torna o processo de biossorção mais eficiente. No entanto, quando se trabalha com o dicromato, é necessário um meio ácido (pH entre 3,0 - 4,6) como observado em nosso trabalho para ativação dos grupos adsorventes da fibra.

Além disso, o planejamento experimental possibilitou analisar o comportamento das variáveis selecionadas simultaneamente para verificar as condições ideais na otimização desse processo. Com isso foi possível obter, já na etapa de triagem, melhores resultados (46,7% em 256 nm e 57,6% em 351 nm) de $cr_{\%}$ do que o observado na literatura (23%) (MOREIRA *et al.*, 2014) onde utilizou-se m_{FCA} superior (2,0 g) a do presente trabalho (0,13 - 0,47 g).

A partir dos modelos experimentais foi possível estimar que as condições ótimas para a bioissorção do Cr na forma $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ são: pH entre 3,0 – 4,6; massa de fibra de cana-de-açúcar entre 0,40 – 0,50 g (Planejamento Experimental Composto Central – modelo linear); concentração inicial de cromo na faixa de $3,6 - 5,2 \times 10^{-5}$ mol/L (Planejamento Experimental Composto Central – modelo quadrático). As condições experimentais ótimas obtidas a partir dos modelos de superfície de contato, apresentam-se estatisticamente robustas. No entanto, é importante a realização de novos experimentos dentro da faixa de valores apresentadas como ótimas para validação do modelo estatístico utilizado, bem como, os dados de isotermas e equilíbrio de bioissorção. Podendo também a metodologia ser aplicada a outras fibras com capacidades para retenção de metais, sendo o planejamento experimental uma boa ferramenta para tal tarefa devido suas vantagens de otimização de tempo e custo, ou seja, é uma alternativa para as questões ambientais, econômicas e práticas.

REFERÊNCIAS

ABBAS, S. H.; ISMAIL, I. M.; MOSTAFA, T. M.; SULAYMON, A. H. Biosorption of Heavy Metals: A Review. **Journal of Chemical Science and Technology**, Vol. 3, p. 74-102, Oct. 2014.

BRASIL. ABNT -NBR 10.004/2004 - Resíduos sólidos - Classificação. **Biotemas**, v. 18, n. 2, p. 7-18, 2004.

CHOJNACKA, K.; MIKULEWICZ, M. Green analytical methods of metals determination in biosorption studies. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 116, p. 254-265, jul. 2019.

COSTA, D. A.; MENDONÇA, R. H.; WYSARD JUNIOR, M. M. Avaliação da remoção de cromo (III) por materiais compósitos porosos adsorventes de PE-g-MA, fibra de coco e quitosana, usando planejamento experimental. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1203-1213, 20 abr. 2017.

FIORINI, L. S. Os minerais na alimentação. **Food Ingredients Brasil**, n. 4, p. 48-65, 2008.

LQTA - Laboratório de Quimometria Teórica e Aplicada - Unicamp. Disponível em: <<http://lqta.iqm.unicamp.br/>>. Acesso em: 16 jan. 2020.

Método de Superfície de Resposta - Planejamento de Experimento | Portal Action. Disponível em: <<http://www.portalaction.com.br/planejamento-de-experimento/62-metodo-de-superficie-de-resposta>>. Acesso em: 8 jan. 2020.

MOREIRA, J. A.; ALBINO, J.; MARCHIORI, K. *et al.* Estudo da adsorção de cromo (vi) em biomassa de cana-de açúcar e fibra de coco para tratamento de resíduos laboratoriais. **XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas**, n. Vi, p. 1-8, 2014.

ROCHA, J. C. **Introdução à química ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SANTANA, M.; LIMA, B. DE. Recuperação dos metais manganês e cromo de efluentes químicos da. **Publica**, n. VI, p. 20-29, 2010.

SANTOS, C. P. *et al.* Contando história. **Química nova na escola**, nov. 2001.

SHRIVER, D. F.; ATKINS, P. W. **Química Inorgânica**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

SILVA, D. *et al.* Biosorption Heavy Metals: a Review. **Revista Saúde e Ciência On line**, v. 3, n. 3, p. 137–149, 2014.

SILVA, H. B. DA; PIRES, J. L. Utilização De Adsorvente Natural Da Amazônia Como Bioadsorvente Para Remoção De Metais Em Soluções Aquosas. **Revista Ponto de Partida**, v. 3, n. 4, p. 39–48, 2014.

SILVA, K. *et al.* Caracterização físico-química da fibra de coco verde para a adsorção de metais pesados em efluente de indústria de tintas. **Engevista**, v. 15, n. 1, p. 43–50, abr. 2013.

STADELLA, C. C.; POCRIFKA, J. R. O.; COSSICH, E. S. Efeito da utilização de solução tampão sobre a biossorção de cromo (III) pela biomassa da alga marinha *Sargassum* sp. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 25, n. 1, p. 77–82, 2003.

TEÓFILO, R. F.; FERREIRA, M. M. C. Quimiometria II: planilhas eletrônicas para cálculos de planejamentos experimentais, um tutorial. **Química Nova**, v. 29, n. 2, p. 338–350, 2006.

CONGRUÊNCIA MODULAR E OS SISTEMAS DE IDENTIFICAÇÃO

MODULAR CONGRUENCE AND IDENTIFICATION SYSTEM

Fernanda dos Santos Rosendo
Universidade Regional do Cariri, Brasil
fsantrosendo@gmail.com

Ozana da Silva Alencar
Universidade Regional do Cariri, Brasil
ozana.alencar@urca.br

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar aplicações de congruência modular em sistemas de identificação a saber: códigos de barras (EAN-13) e códigos de livros (ISBN). Antes das demonstrações dos seis resultados que estabelecem condições para detecção de erros, é definida a congruência modular e são feitos alguns comentários. Os sistemas de identificação abordados são os utilizados no Brasil, a saber, (EAN-13) e (ISBN). A metodologia utilizada consiste em revisões de produções acadêmico-científicas relacionadas ao tema do trabalho. Apesar das aplicações expostas não serem de cunho obrigatório na educação básica, podem servir de auxílio na aprendizagem dos alunos, no sentido de despertar o interesse pela resolução de problemas, assim como a visão da matemática como componente curricular significativo.

Palavras-chave: Congruência modular; Códigos de barras; Sistemas de identificação.

ABSTRACT OR RESUMEN

This work aims to present applications of modular congruence in identification systems, namely: bar codes (EAN-13) and book codes (ISBN). Before proving the six results that establish the conditions for error detection, the modular congruence is defined, and some comments are made. The identification systems addressed are those used in Brazil, (EAN-13) and (ISBN). The methodology used consists of reviews of academic-scientific productions related to the theme of the work. Although the exposed applications are not mandatory in basic education, they can serve as an aid in student learning, in the sense of arousing interest in solving problems, as well as the view of mathematics as a significant curricular component.

Keywords: Modular congruence; Barcodes; Identification systems.

1. INTRODUÇÃO

A globalização tem causado grande impacto na realidade da sociedade, trazendo transformações significativas em diversos setores, incluindo a educação. Nesse sentido, cabe à escola proporcionar aos alunos “o desenvolvimento de competências e habilidades que garantem a formação do cidadão [...] levando-os a compreender a importância do uso da tecnologia e de acompanhar sua constante renovação.” (TAKAHASHI, 2013).

Concomitantemente à complexa tarefa de adequar-se ao mundo da tecnologia, professores de matemática da educação básica enfrentam a realidade de, no seu papel de mediador, propor em sala de aula metodologias atrativas que possibilitem os alunos desconstruírem a visão da matemática como um componente curricular pronto e acabado.

Deste modo, este trabalho objetiva apresentar a matemática como uma ciência que está intimamente vinculada à tecnologia, valendo-se para tal de uma ferramenta utilizada mundialmente: os Sistemas de Identificação, com enfoque nas possíveis detecções de erros. Como já é sabido os códigos de barras são uma ferramenta de extrema importância na área comercial devido à sua capacidade de identificação de produtos, combate a fraudes, rastreabilidade, dentre outros benefícios que ajudam a evitar problemas logísticos em todo o mundo.

Apesar de atualmente carregar essas variadas funções, a razão de sua criação se deu pela procura de um método capaz de capturar as informações de determinado produto quando ele fosse passado no caixa. Dessa forma, mostraremos como são feitos os cálculos para determinação do dígito verificador e em quais casos é possível detectar erros dos códigos de barras nos sistemas EAN-13 (European Article Number) e ISBN (International Standard Book Number).

Alguns sistemas de identificação, dentre eles os que abordaremos aqui, baseiam-se fortemente na Teoria Elementar dos Números sobretudo, na congruência modular (ou congruência módulo m). A congruência é uma importante ferramenta da matemática e isso se justifica por sua vasta gama de aplicações teóricas e práticas. O matemático alemão Carl Friedrich Gauss (1777 - 1855) foi quem contribuiu bastante para este estudo, inclusive, foi ele o primeiro a adotar a notação de congruência que é usada até hoje.

2. METODOLOGIA

A metodologia se resume à pesquisas bibliográficas e ao aprofundamento das discussões.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Trataremos aqui dos códigos de barras no sistema EAN-13 e ISBN e em particular, da forma com que eles detectam erros tais como: erros singulares (em que na transmissão somente um dígito é alterado), transposições adjacentes ($\dots, a_i, a_{i+1}, \dots \mapsto \dots, a_{i+1}, a_i, \dots$) e transposições intercaladas ($\dots, a_{i-1}, a_i, a_{i+1}, \dots \mapsto \dots, a_{i+1}, a_i, a_{i-1}, \dots$). Este estudo baseia-se no conceito de congruência modular a qual é definida da seguinte forma:

Definição 1: Dado $n \in \mathbb{N}$, $n \neq 0$, dois números inteiros a e b são congruentes módulo n quando o resto da divisão euclidiana de a por n é igual ao resto da divisão euclidiana de b por n . E neste caso escrevemos

$$a \equiv b \pmod{n}$$

Exemplo 1: $72 \equiv 52 \pmod{3}$ pois, $72 = 3 \cdot 24 + 0$ e $52 = 3 \cdot 17 + 1$ ambos deixam resto 0 na divisão por 3.

Exemplo 2: Não ocorre $13 \equiv 16 \pmod{7}$ pois, $13 = 1 \cdot 7 + 6$ enquanto $16 = 2 \cdot 7 + 2$, isto é, 16 e 13 deixam restos diferentes na divisão por 7.

Sistema EAN-13

O código EAN-13, atualmente chamado de GTIN (Global Trade Item Number 13), é uma combinação única de números com 13 dígitos, que contém informações relevantes sobre um dado produto nos 12 primeiros dígitos e apresenta no último algarismo, um dígito de verificação. Quando ocorre algum problema na leitura de um código, o operador do caixa precisa digitar a sequência de números do código e este é um processo extremamente passivo de erros. O dígito de verificação é um recurso para a detecção de alguns erros.

Considere um produto codificado no sistema EAN-13, dado pela sequência de dígitos $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{13}$. Denotando por x o décimo terceiro dígito desta listagem e escrevendo a sequência em forma de vetor tem-se $\alpha = (a_1, a_2, a_3, \dots, a_{12}, x)$. O Sistema EAN-13, utiliza um vetor fixo γ , designado “vetor de pesos”, reconhecido por:

$$\begin{aligned} \alpha \cdot \gamma &= (a_1, a_2, a_3, \dots, a_{12}, x) \cdot (1, 3, 1, 3, 1, 3, 1, 3, 1, 3, 1, 3, 1) \\ &= (a_1 + 3a_2 + a_3 + 3a_4 + a_5 + 3a_6 + a_7 + 3a_8 + a_9 + 3a_{10} + a_{11} + 3a_{12} + x). \end{aligned}$$

O dígito verificador $x \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9\}$ é determinado de modo que a soma $\alpha \cdot \gamma$ seja um múltiplo de 10, ou seja, $\alpha \cdot \gamma \equiv 0 \pmod{10}$.

Considere o código 7898937975026. Se ao digitá-lo houvesse um erro no quinto algarismo e o código fosse transmitido como sendo 7898637975026, o erro seria detectado pois sendo

$$\alpha = (7, 8, 9, 8, 6, 3, 7, 9, 7, 5, 0, 2, 6) \text{ e } \gamma = (1, 3, 1, 3, 1, 3, 1, 3, 1, 3, 1, 3, 1),$$

segue do algoritmo descrito acima que,

$$\begin{aligned} \alpha \cdot \gamma &= 7 + (3 \cdot 8) + 9 + (3 \cdot 8) + 6 + (3 \cdot 3) + 7 + (3 \cdot 9) + 7 + (3 \cdot 5) + 0 + (3 \cdot 2) + 6 \\ &= 147, \end{aligned}$$

e entretanto, não ocorre $147 \equiv 0 \pmod{10}$.

Caso o operador digite mais de um algarismo errado, o erro provavelmente será detectado. Entretanto, existe também a possibilidade de que os erros se compensem mutuamente e o produto escalar continue sendo múltiplo de 10, o que impossibilita a identificação do erro.

Considere o código 7891024040379. Suponha que ocorra um erro no dígito da posição a_4 e outro na posição a_9 , e que o código transmitido seja 7894024070379. Então, o erro seria detectado pois:

$$\begin{aligned} \alpha \cdot \gamma &= 7 + (3 \cdot 8) + 9 + (3 \cdot 4) + 0 + (3 \cdot 2) + 4 + (3 \cdot 0) + 7 + (3 \cdot 0) + 3 + (3 \cdot 7) + 9 \\ &= 102, \end{aligned}$$

e entretanto, não ocorre $102 \equiv 0(\text{mod } 10)$.

Agora, supondo para este mesmo código que sejam cometidos erros nos dígitos das posições a_3 e a_{13} resultando no código 7861024040375. Teríamos:

$$\begin{aligned} \alpha \cdot \gamma &= 7 + (3 \cdot 8) + 6 + (3 \cdot 1) + 0 + (3 \cdot 2) + 4 + (3 \cdot 0) + 4 + (3 \cdot 0) + 3 + (3 \cdot 7) + 5 \\ &= 80, \end{aligned}$$

desde que $80 \equiv 0(\text{mod } 10)$, o erro não seria percebido.

De acordo com MILIES (2006), autores como D.F. Beckley e J. Verhoeff investigaram sistematicamente erros cometidos por operadores humanos e obtiveram como resultado que os erros mais frequentes são do tipo singular com 79% de ocorrência, em seguida os erros do tipo transposição adjacente com 10,2%. O restante, isto é, os 10,8% dos erros ocorrem com frequência menor do que 1% cada.

Quando dois algarismos consecutivos têm sua ordem trocada, tem-se o erro de trans- posição adjacente, que já fora mencionado anteriormnnete como sendo o segundo maior erro cometido. Nessa situação o erro pode ou não ser detectado.

Proposição 1: Uma transposição adjacente é detectada pelo EAN-13 se, e somente se, $|a_i - a_{i+1}| \neq 5$.

Demonstração. Considere um código de barras $v = (a_1, a_2, \dots, a_{13})$ do sistema EAN-13. Temos pelo vetor de pesos que as posições ímpares são multiplicadas por 1, enquanto que as pares são multiplicadas por 3. Assim,

$$(1) \quad a_1 + 3a_2 + \dots + 3a_i + a_{i+1} + \dots + 3a_{12} + a_{13} \equiv 0(\text{mod } 10).$$

Suponha que o código seja digitado erroneamente da seguinte forma

$$a_1, a_2, \dots, a_i+1, a_i, \dots, a_{12}, a_{13}.$$

O erro de digitação não será detectado se, e somente se

$$(2) \quad a_1 + 3a_2 + \dots + 3a_{i+1} + a_i + \dots + 3a_{12} + a_{13} \equiv 0 \pmod{10}.$$

Fazendo (1) – (2) segue que,

$$2(a_i - a_{i+1}) \equiv 0 \pmod{10}.$$

Como $0 \leq a_i, a_{i+1} \leq 9$ temos que $-9 \leq a_i - a_{i+1} \leq 9$. Portanto, $|a_i - a_{i+1}| \leq 9$. Para que $2(a_i - a_{i+1})$ seja múltiplo de 10 deve ocorrer $a_i - a_{i+1} = \pm 5$, ou seja, $|a_i - a_{i+1}| = 5$. Assim, provamos que o erro não é detectado se, e somente se, $|a_i - a_{i+1}| = 5$ o que equivale a dizer que é detectado se, e somente se $|a_i - a_{i+1}| \neq 5$.

Proposição 2: Uma transposição não adjacente do tipo

$$\dots, a_i, a_{i+1}, \dots \mapsto \dots, a_{i+1}, a_i, \dots$$

não será detectada pelo sistema EAN-13.

Demonstração. Considere o código de barras $v = (a_1, a_2, \dots, a_i, a_{i+1}, \dots, a_{13})$. Suponha sem perda de generalidade que i é par. Assim, temos que

$$S = a_1 + 3a_2 + \dots + a_i + 3a_{i+1} + a_{i+2} + \dots + 3a_{12} + a_{13},$$

onde $S \equiv 0 \pmod{10}$. Supondo que ocorra a transposição citada no enunciado, temos uma nova soma

$$S' = a_1 + 3a_2 + \dots + a_{i+1} + 3a_i + a_{i+2} + \dots + 3a_{12} + a_{13}.$$

Note que $S - S' \equiv 0 \pmod{10}$, ou seja, $S' \equiv 0 \pmod{10}$ portanto, o erro não pode detectado pelo sistema EAN-13.

Observação 1: Considere $v = (a_1, a_2, \dots, a_{12}, a_{13})$ e $\gamma = (1, 3, 1, 3, 1, 3, 1, 3, 1, 3, 1, 3, 1)$.

Se tomarmos a_i e a_j dígitos quaisquer, note que Se a diferença $i - j$ for par, então a_i e a_j têm o mesmo peso, um ou três. De fato, para que a diferença $i - j$ seja par é preciso que i e j tenham a mesma paridade, isto é, sejam ambos pares ou ambos ímpares, isso implica que a_i e a_j estão ambos em uma posição par, e portanto ambos têm peso 3, ou estão em uma posição ímpar e portanto, têm ambos peso 1.

Se por outro lado, a diferença $i - j$ for ímpar, então a_i e a_j têm pesos distintos. Com efeito, a única possibilidade para a diferença $i - j$ ser ímpar é que i e j tenham paridades distintas.

Proposição 3: Um erro de transposição em que dois dígitos não adjacentes a_i e a_j são trocados, não pode ser detectado pelo Sistema EAN-13, se a diferença $i - j$ for par.

Demonstração. Segue diretamente da Observação 1.

Proposição 4: Um erro de transposição em que dois dígitos não adjacentes a_i e a_j são trocados, com a diferença $i - j$ ímpar, será detectado pelo sistema EAN-13, se e somente se, $|a_i - a_j| \neq 5$.

Demonstração. Seja $v = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_j, \dots, a_{12}, a_{13})$ um código de barras do sistema EAN-13. Assim,

$$(3) \quad a_1 + 3a_2 + \dots + a_i + \dots + 3a_j + \dots + 3a_{12} + a_{13} \equiv 0 \pmod{10}.$$

Note que na soma acima, dada pelo produto escalar do vetor v pelo vetor de pesos γ considerados no Sistema EAN-13, as posições ímpares apresentam-se

multiplicadas por 1, enquanto que as posições pares apresentam-se multiplicadas por 3. Como a variação de i para j é ímpar, muda-se o fator da multiplicação de 1 para 3, ou vice-versa. Assim, suponha que o código v ao ser digitado sofra o erro de transposição mencionado no enunciado. Assim,

$$(4) \quad a_1 + 3a_2 + \dots + a_j + \dots + 3a_i + \dots + 3a_{12} + a_{13} \equiv 0 \pmod{10}.$$

Fazendo (4) – (3) obtém-se

$$a_j - a_i + 3a_i - 3a_j \equiv 0 \pmod{10},$$

$$2(a_i - a_j) \equiv 0 \pmod{10}.$$

Como a_i e a_j estão entre 0 e 9 tem-se que $|a_i - a_j| \leq 9$. Logo, para que a congruência seja válida (e o erro não seja detectado) é preciso que $|a_i - a_j| = 5$. Do contrário, isto é, se $|a_i - a_j| \neq 5$, a congruência não é válida (e portanto o erro é encontrado).

International Standart Book Number

O ISBN (International Standart Book Number) é um sistema que trata da identificação numérica de livros. Criado em 1976, foi gradativamente conquistando seu espaço entre bibliotecas e comerciantes de livros, e levou cerca de 5 anos para ser transformado pela International Organization for Standartization em uma norma padrão internacional.

O modelo ISBN-13 realiza cálculos de dígito verificador e detecção de erros semelhantes aos do EAN-13. Falaremos sobre isso a seguir.

Segundo ESQUINCA (2013), No sistema ISBN-10 o último algarismo é o dígito de verificação enquanto que os outros nove dígitos são organizados em três partes, no seguinte formato:

- 1a parte: identifica o grupo nacional de editores;
- 2a parte: identifica a editora;
- 3a parte: identifica a obra.

Considere o vetor $v = (a_1, a_2, \dots, y)$, onde y é o dígito verificador. O vetor peso do ISBN-10 é dado por $\omega = (10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1)$. Desta forma, fazendo o produto escalar obtemos a soma S

$$v \cdot \omega = 10a_1 + 9a_2 + \dots + 2a_9 + y = S.$$

O dígito verificador $y \in \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10\}$ deve ser escolhido de forma S seja múltiplo de 11, isto é,

$$v \cdot \omega \equiv 0 \pmod{11}.$$

Dados os nove primeiros dígitos de um código ISBN-10 é possível definir o seu dígito verificador. Por exemplo, dados 85 – 334 – 0742 escreveremos o código como um vetor. Assim, tem-se

$$v = (8, 5, 3, 3, 4, 0, 7, 4, 2, y).$$

Logo,

$$\begin{aligned} S &= v \cdot \omega = (8, 5, 3, 3, 4, 0, 7, 4, 2, y)(10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1) \\ &= (8 \cdot 10) + (5 \cdot 9) + (3 \cdot 8) + (3 \cdot 7) + (4 \cdot 6) + (0 \cdot 5) + (7 \cdot 4) + (4 \cdot 3) + (2 \cdot 2) + y \\ &= 80 + 45 + 24 + 21 + 24 + 0 + 28 + 12 + 4 + y. \end{aligned}$$

Daí,

$$S \equiv -8 + 1 + 2 - 1 + 2 + 0 - 5 + 1 - 7 + y \equiv -6 - 9 + y \equiv 7 + y \pmod{11}.$$

Dessa forma, sendo $S \equiv 7 + y \pmod{11}$, para que se tenha $S \equiv 0 \pmod{11}$ é preciso que

$$y = 4. \text{ E, portanto, o ISBN-10 completo é definido por } 85 - 334 - 0742 - 4.$$

Proposição 5: Se ocorrer um erro singular em um código ISBN-10 então o erro

será detectado.

Demonstração. Seja $v = (a_1, a_2, \dots, a_9, a_{10})$ um código ISBN-10 onde a_{10} equivale a y . Tem-se

$$S = v \cdot \omega = (a_1, \dots, a_i, \dots, a_{10})(10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1) \\ = 10a_1 + 9a_2 + \dots + (11-i)a_i + \dots + 1a_{10}.$$

Suponha que o algarismo a_i tenha sido trocado por $.$. Assim, teremos uma outra soma S' ,

$$S' = (a_1, \dots, ., \dots, a_{10})(10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1) \\ = 10a_1 + 9a_2 + \dots + (11-i) + \dots + 1a_{10}.$$

Note que a i -ésima posição permanece a mesma. Logo, fazendo $S - S'$, temos:

$$S - S' = (11-i)a_i - (11-i) = (11-i)(a_i - .).$$

Supondo que o erro não fosse detectado, teríamos $S' \equiv 0 \pmod{11}$, logo $S - S' \equiv 0 \pmod{11}$ implicando que $11 \mid S - S'$, ou seja, $11 \mid (11-i)(a_i - .)$ e desde que 11 é primo deveríamos ter $11 \mid (11-i)$ ou $11 \mid (a_i - .)$. O que não pode ocorrer pois,

$$1 \leq 11-i \leq 10 \quad \therefore \quad 11 \nmid 11-i.$$

$$-9 \leq a_i - . \leq 9 \quad \therefore \quad 11 \nmid a_i - .$$

Logo, o erro deve ser detectado.

Proposição 6: Se ocorrer um erro de transposição em um código ISBN-10 então o erro será detectado.

Demonstração. Seja $v = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_j, \dots, a_{10})$, um código ISBN-10. Então,

$$S = v \cdot \omega = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_j, \dots, a_{10})(10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1) \\ = 10a_1 + 9a_2 + \dots + (11-i)a_i + \dots + (11-j)a_j + \dots + a_{10}.$$

Suponha que um código seja digitado erroneamente, e ocorra uma troca das posições a_i e a_j , onde i e j são números entre 1 e 10. Dessa forma, tem-se uma nova soma

$$S' = (a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_j, \dots, a_{10})(10, 9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1)$$

$$= 10a_1 + 9a_2 + \dots + (11 - i)a_j + \dots + (11 - j)a_i + \dots + a_{10}.$$

Fazendo $S - S'$, tem-se

$$S - S' = (11 - i)a_i + (11 - j)a_j - (11 - i)a_j - (11 - j)a_i$$

$$= a_i[(11 - i) - (11 - j)] + a_j[(11 - j) - (11 - i)]$$

$$= (a_i - a_j)(j - i).$$

Suponha que o erro não fosse detectado, então teríamos $S' \equiv 0 \pmod{11}$. Daí, $S - S' \equiv 0 \pmod{11}$ donde $11 \mid S - S'$, ou seja, $11 \mid (a_i - a_j)(j - i)$ e desde que 11 é primo deveríamos ter $11 \mid (a_i - a_j)$ ou $11 \mid (j - i)$. O que não pode ocorrer pois,

$$-9 \leq a_i - a_j \leq 9 \quad \therefore \quad 11 \nmid a_i - a_j.$$

$$-9 \leq j - i \leq 9 \quad \therefore \quad 11 \nmid j - i.$$

Logo, o erro deve ser detectado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS/CONCLUSÕES

Os códigos detectores de erros, permitem apenas detectar alguns tipos de erros, mas não possibilitam a correção dos mesmos, para isso é necessário acrescentar dígitos de redundância que se assemelham aos dígitos verificadores porém, em maior quantidade. Nesse caso, faz-se necessário uma continuidade e aprofundamento deste estudo na busca por melhorias na detecção e correção de erros. Ao mesmo tempo esse estudo dá à matemática uma oportunidade para mostrar-se útil e contribuinte na vida cotidiana, relacionando-a com outras áreas do conhecimento e desmistificando a ideia de que se trata de uma “matéria sem aplicabilidades”.

REFERÊNCIAS

ESQUINCA, J. C. P. **Aritmética**: Códigos de barras e outras aplicações de congruência. Trabalho de Conclusão de Curso de Mestrado Profissional - UFMS, Campo Grande, 2013.

MILIES, C. P. **A matemática dos códigos de barras**. 2006.

MILIES, C. P.; COELHO, S. P. **Números**: Uma introdução à matemática. EDUSP, 3a. ed. São Paulo, 2001.

ROSENDO, F. S. **A matemática dos sistemas de identificação**. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, URCA - Juazeiro do Norte, 2020.

TAKAHASHI, C. R. d. S. **A matemática dos códigos de barras**. Dissertação de Mestrado - UNESP, São José do Rio Preto, 2013.

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOEMULSÕES CONTENDO EXTRATOS DE SEMENTES DE NONI SENDO DESTINADAS A REVESTIMENTO ANTICORROSIVO

DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF NANOEMULSIONS CONTAINING NONI SEED EXTRACTS DESTINED FOR ANTICORROSIVE COATING

Marcelo Freire de Andrade Neto

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
marcelof.deandrad91@gmail.com

Aline Santos Lima

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
alinesantoslina@gmail.com

Marcelo Monteiro Valente Parente

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
marceloparente2@gmail.com

Men de Sá Moreira de Souza Filho

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
men.souza@embrapa.br

RESUMO

Um das medidas mais eficazes para reduzir os impactos causados pela corrosão em materiais metálicos, sem agredir ao meio ambiente, é o emprego de inibidores de corrosão e revestimentos anticorrosivos oriundo de produtos naturais. Este estudo trata-se do desenvolvimento de nanoemulsões contendo extratos aquoso e oleoso das sementes de noni, e suas caracterizações, como uma alternativa ecologicamente amigável a ser utilizada como revestimento anticorrosivo. Foram produzidas três nanoemulsões, por meio da mistura de fases das soluções, denominadas: NEEAOSN, nanoemulsão contendo extrato aquoso e oleoso da semente do noni, NEEASN contendo somente extrato aquoso e a NEEOSN composta por extrato oleoso da semente do noni. A caracterização das nanoemulsões foi realizada seguindo os seguintes parâmetros: distribuição de tamanho de partículas, potencial zeta, ângulo de contato, tensão superficial. Os resultados sugerem um revestimento anticorrosivo promissor, uma vez que apresentam uma baixa tensão interfacial proporcionando uma melhor adsorção ao substrato metálico.

Palavras-chave: revestimento anticorrosivo; nanoemulsão; corrosão.

ABSTRACT OR RESUMEN

One of the most effective measures to reduce the impacts caused by corrosion on metallic materials, without harming the environment, is the use of corrosion inhibitors and anticorrosive coatings from natural products. This study is about the development of nanoemulsions containing aqueous and oily extracts from noni seeds, and their characterizations, as an ecologically friendly alternative to be used as an anticorrosive coating. Three nanoemulsions were produced by mixing the solution phases, called: NEEAOSN, nanoemulsion containing aqueous and oily extract of noni seed, NEEASN containing only aqueous extract and NEEOSN composed of oily extract of noni seed. The characterization of nanoemulsions was performed according to the following parameters: particle size distribution, zeta potential, contact angle, surface tension. The results suggest a promising anticorrosive coating, since they present a low interfacial tension providing a better adsorption to the metallic substrate.

Keywords: anticorrosive coating; nanoemulsion; corrosion

1. INTRODUÇÃO

Os mais diversos setores industriais são afetando com a degradação de materiais metálicos, podendo-se destacar a indústria química, petroquímica e setores de energias renováveis. Esta degradação resulta em perdas de equipamentos, produtividade, econômicas e problemas ambientais. Estima-se um prejuízo anual em torno de 2,5 trilhões de dólares, o que corresponde a aproximadamente 3,4% do PIB global. Ao fazer uso de práticas de controle de corrosão disponíveis prevê-se economias entre 15 e 35% do custo da corrosão possam ser realizadas, isto é, aproximadamente 375 e 875 bilhões de dólares anualmente em uma escala global (FINŠGAR, M., JACKSON, 2014; NACE, 2020).

Na tentativa de minimizar o processo de oxidação nos metais, vários métodos e técnicas são empregadas. Dos métodos mais aplicados como proteção, a utilização de inibidores e revestimentos anticorrosivo atuam de forma eficaz para diferentes processos corrosivos. Sendo a aplicação de sistemas de revestimento o método mais comum utilizado para controlar a corrosão. O processo de revestimento envolve a aplicação de substâncias que podem ser inorgânicas, orgânicas, revestimentos metálicos ou a combinação desses tipos na superfície metálica (PRICE, FIGUEIRA, 2017).

A necessidade urgente de proteção e conservação do meio ambiente tem impulsionado o desenvolvimento tecnológico na pesquisa científica para uma produção sustentável. Novos métodos de proteção anticorrosiva menos agressivos ao meio ambiente e à saúde humana estão sendo produzidos. Os revestimentos orgânicos feitos a partir de produtos naturais são bons exemplos desse progresso tecnológico com componentes orgânicos voláteis mínimos (BORTHAKUR *et al.*, 2016). A substâncias presentes nesses revestimentos têm a capacidade de formar um filme protetor nas áreas anódicas e catódicas interferindo na reação eletroquímica.

Diversos estudos têm apresentado resultados promissores testando nanoemulsões na inibição de corrosão em superfícies de ligas metálicas, tendo extratos de plantas incorporados em sua composição (KARTHIKEYAN *et al.*, 2012; RODRIGUES, 2012; EMERENCIANO, 2013;

HASSANNEJAD, BARATI, NOURI, 2019). As nanoemulsões consistem em sistemas de dispersão coloidal, estabilizada pela adição de tensoativo, termodinamicamente instável, porém cineticamente estável. Os tensoativos exercem duas funções importantes na formação das nanoemulsões, reduzem a tensão superficial presente entre a água e o óleo, facilitando a distribuição das gotículas, e também são responsáveis por estabilizar as gotículas contra a coalescência e/ou agregação (SCHRÖDER e SCHUBERT, 1999).

Portanto, este estudo objetiva a produção e caracterização de nanoemulsões contendo gelatina e extratos de noni para ser empregadas como revestimento anticorrosivo em ligas metálicas. Uma vez que a gelatina é um polímero natural e biodegradável, possuindo boa capacidade de formar filmes, a sua presença na composição auxilia na formação de filmes capazes de aderir a superfície metálica, agindo como barreira. A presença dos extratos do Noni pode atuar como inibidor de corrosão devido suas propriedades antioxidante.

2. METODOLOGIA

2.1. Obtenção dos extratos das sementes de noni

O processo de extração seguiu como descrito no estudo de Lima (2020). As sementes de noni foram separadas dos frutos com auxílio de uma despoldadeira de frutas, as sementes obtidas foram lavadas, secas em estufa e acondicionadas, totalizando 333g de massa. As sementes foram trituradas utilizando um moinho de facas. Em seguida, foram alocadas em um reator encamisado de aço inoxidável, desenvolvido pela Embrapa, onde foram adicionados 1 L de acetona e 0,5 L de hexano, sendo submetidos a agitação constante de 560 rpm, e a temperatura ambiente por 24 horas. Após o horário, o extrato obtido foi filtrado à vácuo e rotaevaporado à temperatura de 50°C e pressão -0,8 mbar, obtendo-se 8,99 g de um extrato oleoso, com rendimento de 2,77% em relação a massa de semente seca.

O subproduto deste processo resultou em uma farinha desengordurada e úmida, que foi seca em estufa com circulação de ar a 50°C durante 4 horas, obtendo-se uma massa de farinha de seca de 295,7 g. Novamente, sendo submetida ao reator, adicionado 1,5 L de água destilada a uma temperatura igual a 70°C, sob agitação de 195 rpm por 24 horas. Em seguida, o extrato obtido foi filtrado à vácuo e, posteriormente, rotaevaporado sob um vácuo de -0,8 mbar e temperatura igual 70°C.

O extrato aquoso concentrado obtido foi armazenado em ultrafreezer a -80,0 °C por 24 horas e, em seguida, foi liofilizado, à temperatura de 57,0 °C por um período de tempo de, aproximadamente, 27 horas e sob um vácuo de 0,0725 mbar. A massa de extrato aquoso obtida foi de 9,8 g.

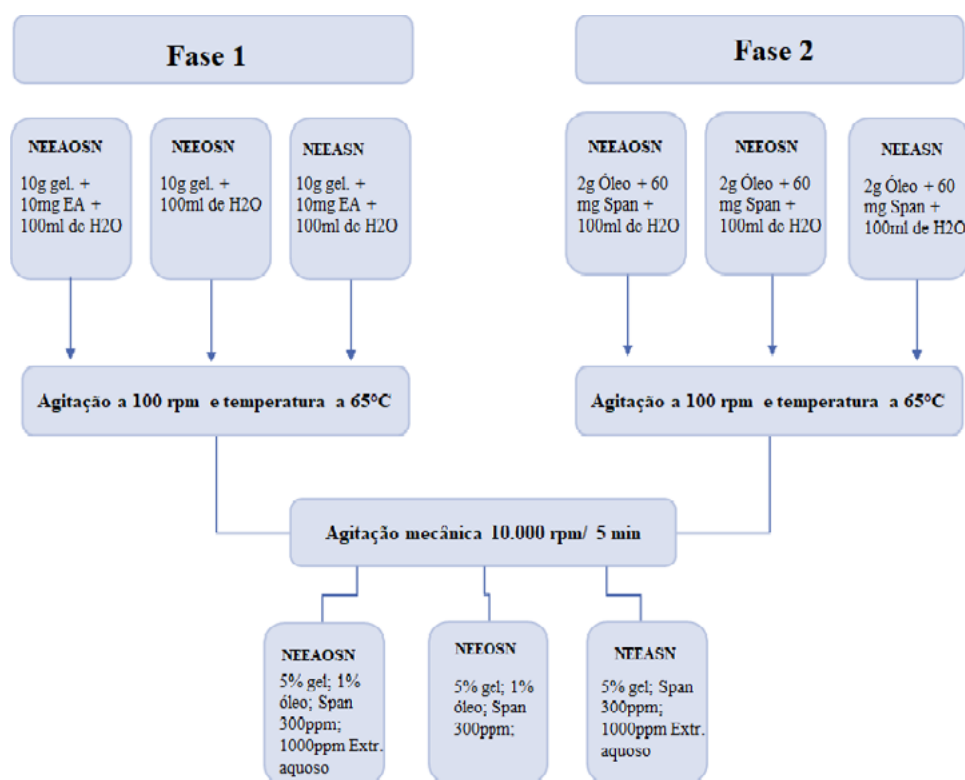
2.2. Preparação dos revestimentos

Foram produzidas três nanoemulsões a partir do extrato aquoso e oleoso, ambos da semente do noni (*Morinda citrifolia* L.). As nanoemulsões foram desenvolvidas contendo em sua composição 5 % m/v (massa/volume) de gelatina alimentícia bovina

e 300 ppm do tensoativo Span® 80, da empresa Sigma, variando apenas quanto a adição dos extratos, assim ficando: nanoemulsão contendo extrato aquoso e óleo da semente do noni (NEEAOSN) adicionado 1 % m/v do óleo da semente de noni e 100 ppm do extrato aquoso; nanoemulsão com extrato aquoso da semente do noni a 100 ppm (NEEASN) e nanoemulsão contendo óleo da semente do noni a 1 % m/v (NEEOSN).

Todas soluções foram preparadas usando o método de inversão de fase de emulsão, as fases oleosas e as fases aquosas foram preparadas separadamente, e em seguida misturadas, como pode ser visualizado no fluxograma apresentado na Figura 1 e descrito nos subtópicos a seguir.

Figura 3— Fluxograma da preparação dos revestimentos



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

2.2.1. Preparo da fase aquosa

A fase aquosa (fase 1) constituiu-se de 100 ml de água destilada, 10 g de gelatina bovina e adição de 100 mg do extrato aquoso da semente do noni, esta última não sendo incluída na composição da amostra NEEOSN. A hidratação das 10 g de gelatina foi realizada em 100 ml de água à temperatura constante de 65 °C, sob agitação

magnética até completa solubilização. Posteriormente, adicionou-se lentamente o extrato aquoso, sob agitação magnética de 100 rpm, até solubilização.

2.2.2. Preparo da fase oleosa

Compondo a fase oleosa (fase 2) 100 ml de água destilada, como tensoativo utilizou-se Span® 80 (monoelato de sorbitano), adquirido da empresa Sigma. Após adição do tensoativo inseriu-se então 2 g óleo de semente do noni, esta última não integrando a amostra NEEASN. Todo o procedimento foi realizado sob agitação de 100 rpm à temperatura controlada de 50 °C, até total solubilização.

Por fim, as fases 1 e 2, de suas respectivas amostras, foram misturadas. As soluções obtidas ao término foram agitadas utilizando um homogeneizador modelo IKA® T25 digital Ultra-Turrax® da fabricante SOVEREIGN Brasil, com velocidade estabelecida de 10.000 rpm durante o tempo de 5 minutos, ocasionando o cisalhamento das partículas.

2.3. Caracterização das nanoemulsões

A caracterização das nanoemulsões foi realizada de acordo com os seguintes parâmetros: distribuição de tamanho de partículas, potencial zeta, ângulo de contato, tensão superficial. Todos os testes foram realizados no Laboratório Tecnologia da Biomassa, localizado na Embrapa agroindústria tropical.

2.3.1 Distribuição de tamanho de partícula e potencial Zeta

A técnica de espalhamento dinâmico de luz (DLS) ou espectroscopia de correlação de fótons (PCS) ou espalhamento de luz quase elástico é usada para determinar o tamanho das partículas, a distribuição de tamanho das nanoemulsões e suas flutuações em termos de intensidade de espalhamento, causada pelo movimento browniano das partículas dentro das nanoemulsões (RUTH *et al.*, 1995; BORTHAKUR *et al.*, 2016).

O potencial Zeta (ζ) determina a força de interação repulsão ou da atração das cargas entre partículas. Quanto maior for o valor medido em modulo neste ensaio, maior será a força de interação repulsiva entre as partículas, ou seja, mais estável será a solução (AZEVEDO, 2016). O valor potencial Zeta está relacionado à estabilidade das dispersões coloidais. Geralmente para uma suspensão estável, o valor do potencial Zeta é de ± 30 mV (BORTHAKUR *et al.*, 2016).

As amostras foram previamente diluídas em 1:100 antes de serem aplicadas no equipamento e através da técnica de espalhamento da luz dinâmico foram determinadas as medidas de potencial zeta e tamanho médio das partículas presentes nas nanoemulsões. O equipamento utilizado foi o Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments Ltd. Malvern, Worcestershire, U.K.).

2.3.2. Ângulo de contato

O método do ângulo de contato (θ) é usado principalmente para a determinação da molhabilidade de sistemas de fluidos puros e de núcleo artificial. A molhabilidade do sistema é geralmente definida de acordo com a determinação do ângulo da água na superfície sólida. Geralmente, (θ)

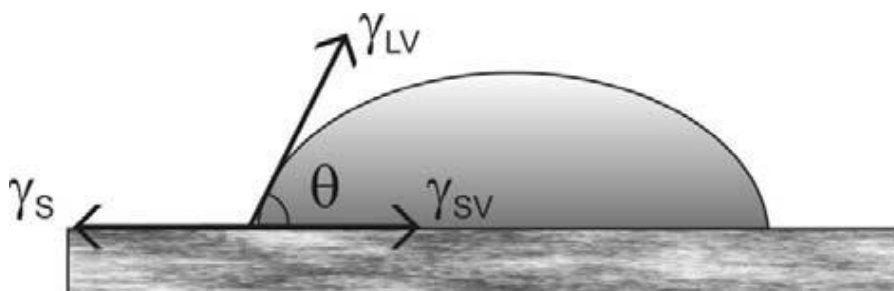
$<75^\circ$, e (θ) $> 105^\circ$ são definidos como umedecimento de água e umedecimento de óleo, respectivamente (XU *et al.*, 2017).

Os revestimentos à base de água geralmente apresentam tensões superficiais próximas de 50 mN/m, principalmente devido à alta tensão superficial da água que é de 72 mN/m. Ao pintar um substrato com uma energia superficial de 35-45 mN/m com um sistema à base de água, deve ocorrer uma redução na tensão superficial do revestimento, umedecimento espontâneo de uma superfície só pode ocorrer quando a tensão superficial do líquido é menor que a energia superficial do substrato. Para isso, surfactantes ou agentes umectantes são comumente usados em aplicações de revestimento à base de água (MARCELLA, SNYDER, 2011).

As medidas de ângulo de contato (θ) das nanoemulsões foram realizadas utilizando medidor de ângulo de contato (GBX Instruments Scientifique - França) pertencente à Empresa agroindústria tropical.

No teste, uma gota (5-9 μ L) de cada nanoemulsão foi depositada sobre a superfície da liga metálica com o auxílio de uma seringa de precisão, sendo realizadas seis repetições a 25 °C para cada nanoemulsão. Em um intervalo de tempo de 10 segundos foi calculado o valor do ângulo de contato através da média dos ângulos dos dois lados da gota. A figura 2 ilustra a gota sobre superfície metálica e o ângulo medido entre este contato.

Figura 3 — Representação do ângulo de contato entre a gota e a superfície metálica



Fonte: CESTARI (2010)

2.3.3. Medidas de tensão interfacial

O método do ângulo de contato (θ) é usado principalmente para a determinação da molhabilidade de sistemas de fluidos puros e de núcleo artificial. A molhabilidade do sistema é geralmente definida de acordo com a determinação do ângulo da água na superfície sólida. Geralmente, (θ)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização das nanoemulsões

3.1.1 Distribuição de tamanho de partícula e potencial Zeta

Para que uma nanoemulsão proporcione uma maior estabilidade é interessante apresentar tamanho das gotículas em uma faixa de 20-500 nm e uma dispersão com potencial Zeta superior a ± 30 mV (DONSÌ, FERRARI, 2016; WALKER *et al.*, 2017). Os valores obtidos para distribuição de tamanho de partícula e potencial Zeta de cada nanoemulsão estão listados na tabela 1.

Tabela 1 — Valores obtidos durante os ensaios distribuição de tamanho de partícula (Z- Ave) e potencial Zeta (ZP)

Amostra	Z-Ave (d.nm)	ZP (mV)
NEEASN	207,9	-11,2±0,8
NEEOSN	420,2	-11,4±0,4
NEEAOSN	365,5	-10,2±0,5

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A amostra NEEASN, apresentou tamanho médio de partícula de 207,9 nm e potencial Zeta de - 11,2 mV. Para a nanoemulsão NEEOSN o tamanho médio foi de, 420,2 nm, sendo seu potencial Zeta -11,4 mV e a NEEAOSN apresentou tamanho de 365,5 nm e potencial Zeta correspondente a -10,2 mV. Tais valores caracterizando as amostras como um sistema instável. As nanoemulsões preparadas mostraram-se translúcida, sem separação de fases. Para todas as amostras utilizou-se surfactante não iônico, Span® 80 (monoelato de sorbitano), justificando assim, as cargas elétricas tenderem a ser próximas de zero.

Outros estudos também apresentam potencial Zeta de valores negativos, NUNES (2018), produziu nanoemulsão contendo óleo essencial de limão, cujo potencial Zeta determinado foi de $-10,9 \pm 0,1$ mV. JO e KWON (2014) desenvolveu nanoemulsão com D-limoneno -14 mV. BEDIN (2011) que produziu nanoemulsões com Solutol HS15 + Tween80 e sem Tween80 apresentou medidas que variaram de -8,89 mV a -14,67 mV em suas amostras.

3.1.2. Tensão Interfacial

Valendo-se de referência a tensão interfacial da água a 25 °C, de aproximadamente 72 mN/m. Pôde-se constatar em todas as nanoemulsões baixos valores de tensão de interface próximos a 40 mN/m, de acordo com os valores apresentados na tabela 2. Onde pode-se verificar que a nanoemulsão NEASN apresenta maior tensão interfacial (40,5 mN/m), NEOSN e NEOASN demonstraram uma maior proximidade em valores, (35,5 mN/m) e (33,8 mN/m), respectivamente. Esses comportamentos se aproximam dos revestimentos à base de água, onde geralmente apresentam tensões

superficiais próximas de 50 mN/m, devido à alta tensão superficial da água a 72 mN/m (MARCELLA, SNYDER, 2011). Baixos valores de tensão interfacial são importantes para a formação de nanoemulsões, ademais, quanto menor é a tensão interfacial maior é a adsorção, a molhabilidade, espalhabilidade e penetração no substrato, bem como, maior é a probabilidade de se obter emulsões mais estáveis (SAJJADI, 2007). Assim, a amostra NEAOSN apresentou melhor comportamento.

Tabela 1 — Valores obtidos durante os ensaios de tensão de interface

Nanoemulsão	Tensão interfacial (mN/m)
NEASN	40,5 ± 0,5
NEOSN	35,5 ± 0,5
NEAOSN	33,8 ± 0,2

Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Na literatura, Souza (2013) produziu nanoemulsões, alternando a concentração de polímero (poliacrilamida) de 0% a 0,4%, reportou valores de tensão interfacial em suas nanoemulsões que variam de 33,66 a 39,69 mN/m. Firmino (2016), que testou diferentes tipos de sistemas microemulsionados apresentou valores inferiores a 30 mN/m.

3.1.3. Ângulo de contato

Através das medidas do ângulo de contato pode-se avaliar a natureza hidrofílica/hidrofóbica das nanoemulsões, as quais estão expressas a seguir na tabela 3, e podendo ser observadas na Figura 3.

Tabela 3 — Resultado de ângulo de contato

Nanoemulsão	A36 - Sem revestimento	A36 – Com revestimento
NEEASN	64,13°	88,97°
NEOSN	64,60°	81,30°
NEEAOSN	59.7°	74.87°

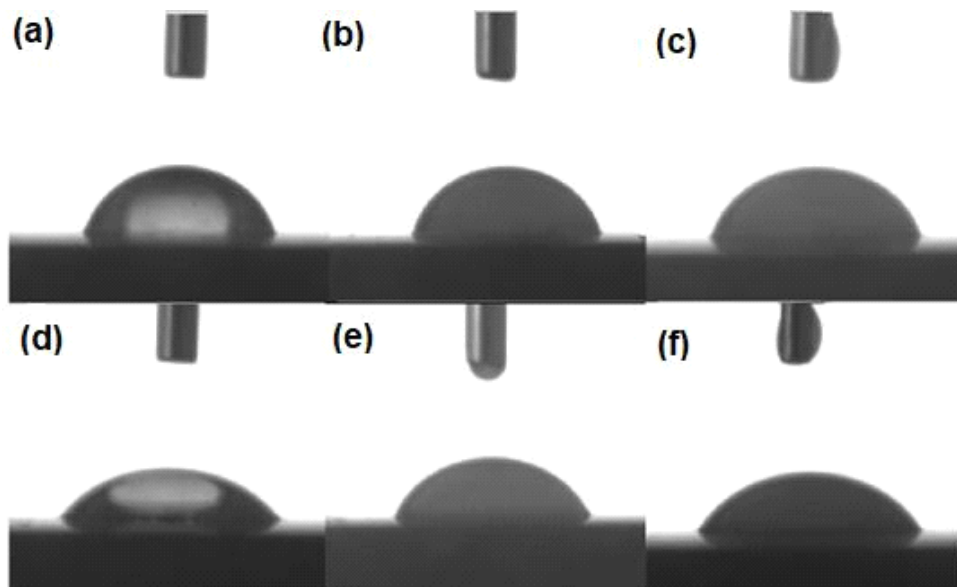
Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A amostra contendo somente extrato oleoso de noni (NEEOSN) apresentou o maior ângulo de contato, com uma pequena diferença em relação a amostra anterior, a NEEASN que resultou no segundo maior ângulo. A amostra que se caracterizou como a mais hidrofílica foi a da nanoemulsão que continham os extratos oleoso e aquoso em sua composição (NEEAOSN) quando depositada em liga metálica sem revestimento algum, endossado por sua baixa tensão interfacial que proporciona maior é a adsorção, a molhabilidade, espalhabilidade. Os valores de todas as amostras se mostram mais hidrofóbicas quando aplicadas na mesma liga metálica com um revestimento prévio.

A superfície é hidrofílica quando os valores do ângulo de contato entre o material e a gota são inferiores a 65° e hidrofóbico para valores superiores (KUREK, GALUS, DEBEAUFORT, 2014). Portanto, as nanoemulsões testadas na liga metálica sem revestimento apresentaram comportamento hidrofílico.

Em estudos relatados por Nunes (2018), que produziu nanoemulsões com gelatina e óleo essencial de limão, outra contendo de gelatina com extrato de chá-verde e nanoemulsão de gelatina com extrato de chá-verde e nanoemulsão de limão constatou ângulo de contato correspondente a 68 °, 50°, 38°, respectivamente.

Figura 3 —ângulo de contato das nanoemulsões sob superfície metálica revestida e não revestida.



Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

A figura 3 são fotografias das gotas de cada amostra tiradas durante as medições de ângulo de contato. Onde a imagem (a) é NEEASN, (b) NEEOSN e (c) NEEAOSN sob superfície metálica com revestimento inicial; (d) NEEASN, (e) NEEOSN e (f) NEEAOSN sob superfície metálica sem revestimento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os dados obtidos sugerem um revestimento anticorrosivo promissor, uma vez que, as nanoemulsões produzidas apresentam tensões interfaciais relativamente baixas possibilitando uma melhor penetração no substrato (liga metálica), formando assim filmes sob a superfície das ligas metálicas capazes de agir como barreira entre o metal e o meio, impedindo desta forma o contato direto com o ambiente corrosivo. Como reforço desta proteção, a presença de extratos do noni age como inibidores de corrosão devido sua ação antioxidante. Além de apresentar um custo de produção consideravelmente mais baixo, e de serem menos agressivos ao meio ambiente, por serem biodegradáveis.

Porém, a instabilidade apresentadas no potencial Zeta e a presença de gelatina em sua constituição impossibilita a armazenagem por longo prazo, uma vez que a proteína presente na gelatina sofrerá degradação comprometendo a eficácia dos filmes. Faz-se necessário ainda submeter os revestimentos, após depositado na liga

métalica, à ensaios eletroquímicos objetivando estudos mais aprofundados sobre o comportamento inibitório frente a ambientes potencialmente corrosivos, bem como estimar qual o grau de sua eficácia.

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, V. F. **Análise termo-reológica de nanolubrificantes para compressores de refrigeração aditivados com nanotubos de carbono**. 2016. 146f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) -Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

BEDIN, A. C. **Nanoemulsões contendo Benzoilmetronidazol: Desenvolvimento, Caracterização e Estudo de Liberação in vitro**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Farmacologia Mestrado Profissional) Universidade Federal de Santa Catarina Centro de Ciências da Saúde, Toledo, 2011.

BORTHAKUR, P., BORUAH, P. K., SHARMA, B., DAS, M. R. Nanoemulsion: preparation and its application in food industry. *Emulsions*, 153–191, 2016.
 DONSI, F.; FERRARI, G. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. **Journal of Biotechnology**, v. 233, p. 106-120, 2016.

EMERENCIANO, D. P., **Obtenção de novos sistemas nanoautoemulsificantes a partir do óleo das sementes de Azadirachta indica A Juss e suas aplicações como inibidores de corrosão**. Dissertação (mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Centro de Ciências Exatas e da Terra. Programa de Pós-Graduação em Química. Natal, 2013.

FINŠGAR, M.; JACKSON, J., Application of corrosion inhibitors for steels in acidic media for the oil and gas industry: A review. **Corrosion Science**, v 86, pp 17-41. May 2014.

FIRMINO, P. C. O. S., **Influência de sistemas microemulsionados na molhabilidade de arenito e na recuperação avançada de petróleo**. Dissertação de mestrado (Programa de Pós-graduação em engenharia química) Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2016.

JO, Y. J.; KWON, Y. J. Characterization of β -Carotene Nanoemulsions Prepared by. **Food Science and Biotechnology**, v. 23, p. 107-113, 2014.

HASSANNEJAD, H., BARATI, A., NOURI, A., The use of nanoemulsion-based strategies to improve corrosion inhibition efficiency of Thyme-based inhibitor. **Journal of Molecular Liquids**, 2019.

KARTHIKEYAN, P.A. JEEVA, J. JEROBIN, AMITAVA MUKHERJEE, N. CHANDRASEKARAN, Formulation and characterization of nanoemulsion coatings from Azadirachta indica. **Int.J.ChemTech**. Vol.4, No.4, 2012.

KUREK, M.; GALUS, S.; DEBEAUFORT, F. Surface, mechanical and barrier properties of bio-based composite films based on chitosan and whey protein. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 1, p. 56-67, 2014.

LIMA, A. S., **Avaliação do Extrato de Morinda Citrifolia L. como Inibidor de Corrosão do Aço Carbono ASTM A178 em Meios Ácidos**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Energias Renováveis, Campus Maracanaú, 2020.

MARCELLA, P. C., SNYDER, J.M., A New Environmentally Friendly Wetting Agent for Architectural Coatings. **Paint&coatings industry**, 2011.

NACE International. 2016. Disponível em: <<http://impact.nace.org/economic-impact.aspx>> Acesso em: 30 de agosto. 2020.

NUNES, J. C., **Preparação e caracterização de filmes comestíveis baseados em gelatina, chá-verde e nanoemulsão de óleo essencial de limão**. Dissertação de mestrado (Ciência dos Materiais) Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira –UNESP. Ilha Solteira, 2018.

PRICE, S. J., FIGUEIRA R. B., Corrosion Protection Systems and Fatigue Corrosion in Offshore Wind Structures: Current Status and Future Perspectives. **Coatings**, 7, 25, 2017.

RODRIGUES, C. J. F., **Estudo da eficácia do tensoativo sorbitano Tween 80 veiculado em nanoemulsões contendo óleo de soja, como inibidor de corrosão**. 2012. 109p. Dissertação (mestrado em química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

RUTH, H.S., ATTWOOD, D., KTIKIDIS, G., TAYLOR, C., Phase studies and particle size analysis of oil-in-water phospholipid microemulsions. **Int. J. Pharm.** V. 116, p.253–261. 1995.

SAJJADI, S. Formation of fine emulsions at high viscosity or low interfacial tension: A comparative study. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, V. 299, p. 73-78, 2007.

SCHRÖDER, V.; SCHUBERT, H. Production of emulsions using microporous, ceramic membranes. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 152, n. 1, p. 103-109, 1999.

Xu, Q., Li, Q., Wu, X., Li, B., Yao, E., Li, Y., ... Cai, W. (2017). Enhancement of the Wettability and Lubrication of Shale Rock via Nanoemulsions. **International Journal of Polymer Science**, p. 1–6. 2017.

ÍNDICE DE SUSTENTABILIDADE SOCIOAMBIENTAL DA SUB-BACIA DO MÉDIO JAGUARIBE - CE

SOCIO-ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY INDEX OF THE JAGUARIBE SUBBASIN – CE

Rosileuda Pereira dos Santo

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
rosileudasantos.01@gmail.com

Marcelo Melo Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
mm.ifce@gmail.com

Lucas da Silva (Orientador)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
lucas.silva@ifce.edu.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo determinar a sustentabilidade ambiental dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe-CE por meio da aplicação do aplicativo SISBHI-CE, desenvolvido no IFCE - Campus Quixadá. Os resultados foram obtidos através de uma média aritmética das dimensões social, econômica e ambiental, através das quais foram classificados os municípios em insustentável, potencialmente insustentável, Sustentabilidade média, potencialmente sustentável e Sustentável. Os municípios de Jaguaribe e Jaguaribara são potencialmente sustentáveis, Iracema, Tabuleiro do Norte, Solonópolis, São João do Jaguaribe e Milhã possuem sustentabilidade média, Pereiro, Alto Santo, Jaguaratama, Ererê, Deputado Irapuan Pereiro e Potiretama são potencialmente insustentável. Conclui-se que 46,15% dos municípios que compõem a sub-bacia são potencialmente insustentável e 38,46% possuem sustentabilidade média, evidenciando a necessidade de melhorias nos indicadores analisados, de forma a diminuir a degradação da sub-bacia, investindo em ações e políticas públicas e ambientais, bem como melhorar os investimentos sociais tornando o ambiente mais sustentável.

Palavras-chave: indicadores. aplicativo. SISBHI-CE.

ABSTRACT OR RESUMEN

This work aims to determine the environmental sustainability of the municipalities that make up the hydrographic sub-basin of the Middle Jaguaribe-CE through the application of the SISBHI-CE application, developed at IFCE - Campus Quixadá. The results were obtained through an arithmetic average of the social, economic and environmental dimensions, through which municipalities were classified as unsustainable, potentially unsustainable, Medium Sustainability, potentially sustainable and Sustainable. The municipalities of Jaguaribe and Jaguaribara are potentially sustainable, Iracema, Tabuleiro do Norte, Solonópolis, São João do Jaguaribe and Milhã have medium sustainability, Pereiro, Alto Santo, Jaguaratama, Ererê, Deputy Irapuan Pereiro and Potiretama are potentially unsustainable. It is concluded that 46.15% of the municipalities that make up the sub-basin are potentially unsustainable and 38.46% have average sustainability, showing the need for improvements in the analyzed indicators, in order to reduce the degradation of the sub-basin, investing in public and environmental actions and policies, as well as improving social investments making the environment more sustainable.

Keywords: Indicators. App. SISBHI-CE.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente existe uma encasada busca pelo equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a conservação dos sistemas naturais tem sido uma das grande preocupação atualmente, e para isso vários mecanismos foram criados com intuito de garantir esse equilíbrio entre os interesses da humanidade e a conservação do meio ambiente, por meio do planejamento que priorize os componentes ambientais (COUTO, 2007).

Diante disso, os indicadores objetivam agregar e quantificar informações de uma maneira mais sugestiva, melhorando o processo de comunicação, de modo a simplificar as informações a respeito dos fenômenos complexos deixando o este fenômeno mais compreensível e quantificável (VAN BELLEN, 2002).

Alguns indicadores são usados para mensurar a sustentabilidade e o interesse pelos mesmos vem aumentado consideravelmente, entre eles o Índice de Sustentabilidade Socioambiental, usado para determina a sustentabilidade nas dimensões ambiental, sociais, econômicas e gerar uma média entre essas dimensões. O presente trabalho visa determinar o índice de sustentabilidade socioambiental dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe através do aplicativo SISBHI-C, com a finalidade de contribuir para o gerenciamento dos recursos hídrico.

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

Os indicadores são instrumentos de medição que fornecem valores que busca se enquadra na realidade mabiental, social e economica de determinada área a ser estudada (SILVA, 2017). Os mesmos tem como objetivo agregar e quantificar informações de forma mais simplificada e de facil compreensão (VAN BELLEN, 2006).

Assim, os indicadores surgem como ferramentas auxiliares para avaliar a sustentabilidade ambiental, com objetivo de estabelecer uma visão de conjuto e maior junção dos componentes de sustentabilidade, sendo necessario um processo de avaliação dos resultados encontrados e as metas estabelecidas, de modo a promover suporte para as tomadas de decisões (MALHEIROS, PHILIPPI e COUTINHO, 2008).

Nesse sentido, os indicadores de sustentabilidade visa auxiliam no monitoramento e operalização do desenvolvimento sustentavel, visando fornecer informais da situação atual das diversas dimensões, tais como as dimensões ambientais, econômicas, socioeconômicas, culturais, institucionais, dentre outra dimensões, que constitui o desenvolvimento sustentavel (CARVALHO, J. *et al.*, 2011).

Para Silva (2017) a aplicação de indicadores ambientais visa elaborar métodos que avaliam a aplicação das políticas públicas referente ao meio ambiente e assessoram aos diferentes grupos ou empresas a atingir uma condição cada vez mais sustentável.

Os indicadores de sustentabilidade têm grande potencial de ser um instrumento adequado para conciliar crescimento econômico, preservação ambiental e justiça social, pois, estes utilizam todas as informações sobre a situação econômica, ambiental e social de um determinado local e período (Lira, 2008).

Desse modo, a utilização de indicadores ambientais possibilita a análise das condições e as mudanças na qualidade ambiental, além de melhorar o entendimento sobre os dados envolvidos, funcionando como uma ferramenta base para o processo de tomada de decisão e elaboração de políticas públicas e de práticas sustentáveis (GOMES; MALHEIROS, 2012).

Desta forma, os índices de sustentabilidade se tornam uma importante ferramenta utilizada pelos municípios, sendo considerado segundo SEI (2006) como importantes e indispensáveis nas tomadas de decisões em diversas áreas, determinando o desempenho ambiental, por meio da sintetização das informações qualitativas e quantitativas, estabelecendo a eficiência e efetividade do sistema.

Os indicadores são fundamentais na geração de dados para avaliação da sustentabilidade, pois indicam a direção de maneira a priorizar as mudanças dando orientação para caminhos e propostas que venham a contribuir com o desenvolvimento sustentável do sistema produtivo (VERONA, 2008). Desta forma, os indicadores são fundamentais e indispensáveis em qualquer sistema produtivo e garantem melhores resultados em busca do desenvolvimento do mesmo.

3. METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

A sub-bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe está localizada na parte leste do Estado do Ceará e limita-se, na parte oriental, com o Estado do Rio Grande do Norte, drenando uma área de 10.335 km², que equivale a 13% do território cearense (CEARÁ, 2009). A sub-bacia é composta pelos seguintes municípios: Deputado Irapuan Pinheiro, Ererê, Iracema, Jaguaretama, Jaguaribara, Jaguaribe, Milhã, Pereiro, Potiretama, São João do Jaguaribe, Solonópole, Tabuleiro do Norte.

3.2. Índice de sustentabilidade ambiental - ISA

A análise foi realizada por meio do aplicativo SISBHI-CE, desenvolvido no Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará - Campus Quixadá. Para obtenção dos índices o aplicativo usa as metodologias Januzzi (2001), Martins e Cândido (2008) e Silva (2017), no qual utilizam indicadores ambientais e classifica-os em positivos ou negativos, ou seja, quando a sua capacidade de afetar a sustentabilidade ambiental, agregando-os em dimensões. Para este estudo limitando-se nas dimensões social, econômica e ambiental.

Tabela 1 — Indicadores de sustentabilidade ambiental e suas classificações adotadas.

Indicadores	Categoria	Fonte	Dimensão
Domicílios com banheiro ou sanitário (%)	Positivo	IBGE	Ambiental
Rede sanitária via esgoto (%)	Positivo	IBGE	Ambiental
Rede sanitária via fossa séptica (%)	Positivo	IBGE	Ambiental
Domicílios com acesso à rede geral de abastecimento (%)	Positivo	IBGE	Social
Pessoas de 10 anos ou mais de idade alfabetizadas (%)	Positivo	IBGE	Social
IDH-M (Índice de Desenvolvimento Humano Municipal)	Positivo	IPECE	Social
Quantidade de estabelecimentos de saúde	Positivo	IPECE	Social
População total	Positivo	IBGE	Social
Densidade demográfica	Positivo	IBGE	Social
Mortalidade Infantil (%)	Negativo	IBGE	Social
Outra forma de abastecimento de água (%)	Negativo	IBGE	Social
Lixo coletado (%)	Negativo	IBGE	Ambiental
Consumo médio residencial de energia (MwK)	Negativo	IBGE	Ambiental
Lixo colocado a céu aberto (%)	Negativo	IBGE	Ambiental
Lixo queimado (%)	Negativo	IBGE	Ambiental
Lixo enterrado (%)	Negativo	IBGE	Ambiental
PIB municipal (R\$ mil)	Positivo	IBGE	Econômicos
PIB per capita em reais	Positivo	IBGE	Econômicos
PIB por setor – Agropecuária	Positivo	IBGE	Econômicos
PIB por setor – Indústria	Positivo	IBGE	Econômicos
PIB por setor – Serviço	Positivo	IBGE	Econômicos

Fonte: Adptação Silva (2017)

Para realização dos cálculos por meio de regra encontrada em Carvalho et al, equação 1 e 2 (2011):

- Relação positiva:

$$I = (x - m)/(M - m) \quad (1)$$

- Relação negativa:

$$I = (M - x)/(M - m) \quad (2)$$

Onde:

I = índice calculado referente a cada variável, para cada território analisado;

x = valor observado de cada variável em cada território analisado;

m = valor mínimo considerado;

M = valor máximo considerado.

Assim, realiza-se os cálculos para cada indicador e a agregação dos índices através de uma média aritmética para cada dimensão. A avaliação de sustentabilidade é realizada por meio da escala proposta por Guimarães, Turetta e Coltinho (2010) adaptada por Silva (2017), que estabelece uma escala que varia de 0 a 1 (Tabela 2).

Tabela 2 — Classificação dos índices em níveis de sustentabilidade ambiental

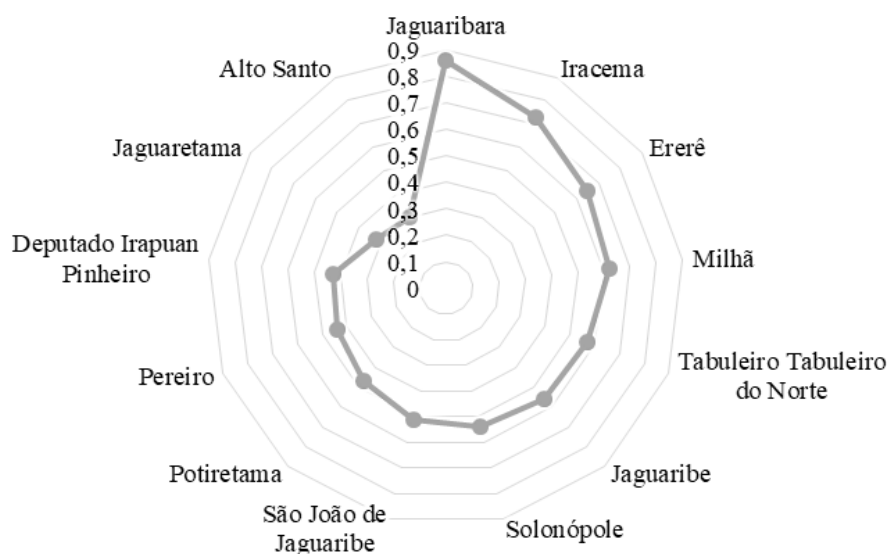
Índice (0,0 – 1,0)	Municípios que compõem a bacia
0,0 – 0,2	Insustentável
0,21 – 0,4	Potencialmente insustentável
0,41 – 0,6	Sustentabilidade média
0,61 – 0,8	Potencialmente sustentável
0,81 – 1,0	Sustentável

Fonte: Adaptação Silva (2017)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os índices de sustentabilidade variam de acordo com as dimensões ambiental, social e econômica. Na primeira dimensão calculada pelo aplicativo SISBHICE, a dimensão ambiental, o município Jaguaribara com índice de 0,86 foi o único considerado com sustentável (Figura 1), seguindo dos municípios de Iracema (0,73), Ererê (0,65) e Milhã (0,62) como potencialmente sustentável.

Figura 1 — Índice da dimensão ambiental dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe.

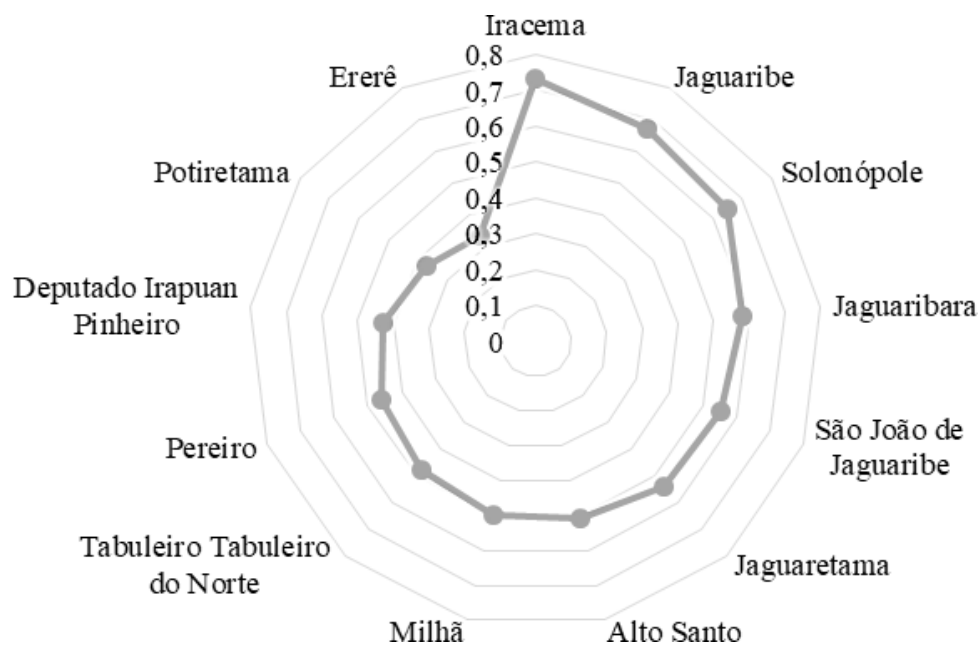


Fonte: Autores (2018)

Verifica-se ainda no Figura 1 que os municípios de Tabueiro do Norte (0,57), Jaguaribe (0,56), Solonópolis (0,54), São João do Jaguaribe (0,51), Potiretama (0,47), Pereiro (0,44) e Deputado Irapuan Pereiro (0,43) possuem sustentabilidade média, são potencialmente insustentável, já o município de Jaguaritama (0,32) e Alto Santo (0,31) é potencialmente insustentável. Assim, se faz necessário que os municípios busquem alternativas para aperçoar e melhorar seus indicadores ambientais, de modo a diminuir a degradação da sub-bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe e garantir o bem-estar da população.

Para o Índice de sustentabilidade socioambiental da dimensão social (Figura 2), pode-se afirmar o município de Iracema (0,73), Jaguaribe (0,67) e Solonópole (0,65) são potencialmente sustentáveis. Os municípios de Jaguaribara (0,58), São João do Jaguaribe (0,55), Jaguaritama (0,54), Alto Santo (0,51), Milhã (0,50), Tabuleiro do Norte (0,48), Pereiro (0,43) e Deputado Irapuan Pereiro (0,43) possuem sustentabilidade média. Os municípios de Potiretama (0,37) e Ererê (0,33) considerado potencialmente insustentável, devido aos baixos valores nos indicadores positivos e altos nos negativos, deixando notório que tais municípios devem buscar medidas que melhorem seus indicadores sociais, promovendo melhoria na qualidade de vida e bem-estar social nos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe.

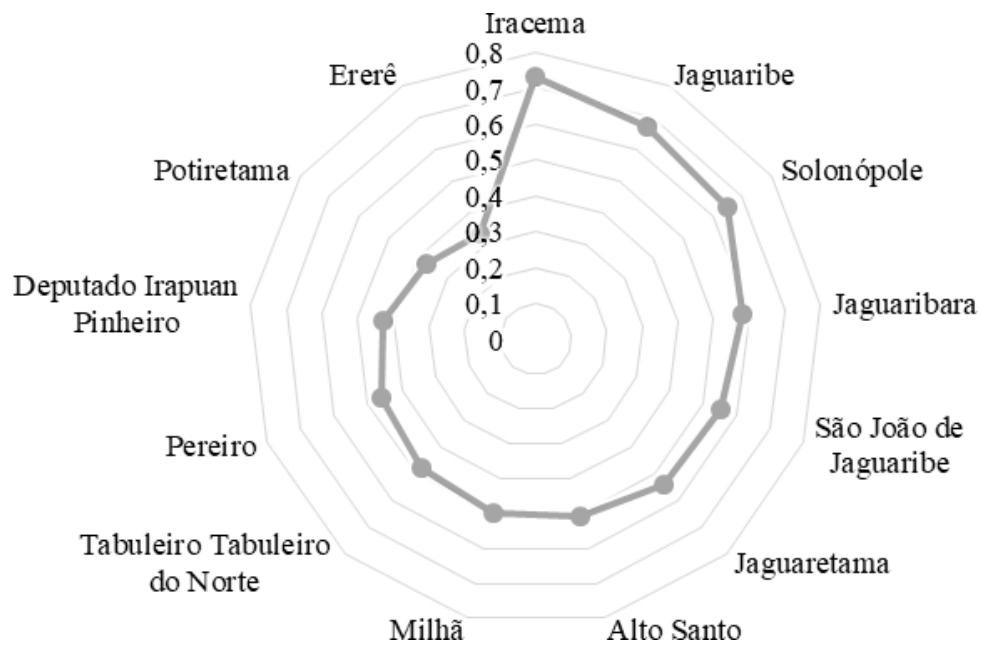
Figura 2 — Índice da dimensão social dos municípios que compõem a sub-bacia



Fonte: Autores (2018)

A Figura 3 mostra o comportamento dos índices da dimensão econômica, no qual identifica-se que o município de Jaguaribe (0,76) é o único com potencialidade sustentável. Já os municípios de Jaguaribara (0,44), Tabuleiro do Norte (0,43) possui sustentabilidade média, os municípios de São João de Jaguaribe (0,32), Pereiro (0,27), Alto Santo (0,26), Iracema (0,25), Jagaretama (0,22) e Solonópole (0,21) são potencialmente insustentáveis e os demais municípios, Milhã (0,18), Deputado Irapuan Pereiro (0,08), Potiretama (0,08), e Ererê (0,06) são insustentáveis. Assim, se faz necessário e urgente novas ações e políticas públicas para aperfeiçoar e melhorar seus indicadores analisado para tal dimensão, de maneira a melhorar as condições econômicas desses municípios.

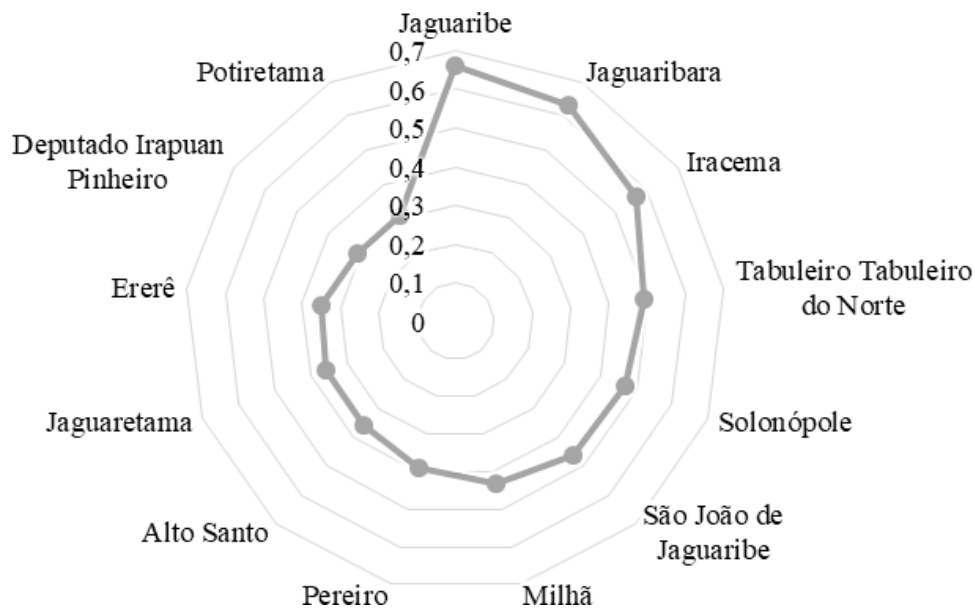
Figura 3 — Índice da dimensão econômica dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe.



Fonte: Autores (2018)

A partir dos índices nas dimensões foi gerado o Índice de sustentabilidade Ambiental dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe (Figura 4). Através desse Figura é possível afirmar que os municípios de Jaguaribe e Jaguaribara são potencialmente sustentáveis, apresentado índice de 0,66 e 0,63 respectivamente, seguindo de Iracema (0,57), Tabuleiro do Norte (0,49), Solonópolis (0,47), São João do Jaguaribe (0,46) e Milhã (0,43) com sustentabilidade média.

Figura 4 — Índice de sustentabilidade Ambiental dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe



Fonte: Autores (2018)

Verifica-se ainda no gráfico 2 que os municípios de Pereiro (0,39), Alto Santo (0,36), Jaguaretama (0,36), Ererê (0,35), Deputado Irapuan Pereiro (0,31) e Potiretama (0,31) são potencialmente insustentáveis, deste modo, é necessário melhorar os indicadores de todas as dimensões analisadas, além de ser indispensável que haja mais investimento em políticas públicas que favoreça o progresso das condições ambientais, sociais e econômicas da população.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que cerca de 46,15% dos municípios que compõem a sub-bacia hidrográfica do Médio Jaguaribe apresentam desempenho potencialmente insustentável e 38,46% possui sustentabilidade média. Assim, é evidente a necessidade de melhorias em vários indicadores analisados, de modo a diminuir a degradação da sub-bacia, investindo em ações e políticas públicas e ambientais, bem como melhorar os investimentos sociais de forma que a sub-bacia hidrográfica torne-se um ambientes mais sustentável.

REFERÊNCIAS

CEARÁ. Assembleia Legislativa. **Caderno regional da sub-bacia do Médio Jaguaribe**. Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará; Eudoro Walter de Santana (Coordenador). – Fortaleza: INESP, 2009.

CARVALHO, J. R. M. de; CURI, W. W. F; CARVALHO, E. K. M. de A, CURI, R. C. Proposta e validação de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do alto curso do Rio Paraíba, PB. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 23, n. 2, agosto 2011.

COUTO, Odir Fernando Vidal. **Geração de um índice de sustentabilidade ambiental para bacias hidrográficas em áreas urbanas através do emprego de técnicas integradas de geoprocessamento**. 172 f. Dissertação (Mestrado em Geografia.) – Programa de Pós-Graduação em Geografia: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências, Porto Alegre, RS - BR, 2008.

GOMES, P. R; MALHEIROS, T. F. Proposta de análise de indicadores ambientais para apoio na discussão da sustentabilidade. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 151-169, 2012.

LIRA, W. S. **Sistema de Gestão do Conhecimento para Indicadores de Sustentabilidade – SIGECIS**: Proposta de uma metodologia Campina Grande – PB. 2008. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande. Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, 2008.

MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JR., A.; COUTINHO, S. M.V. Agenda 21 nacional e indicadores de desenvolvimento sustentável: contexto brasileiro. **Revista Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 7-20, 2008.

MARTINS, M. F.; CÂNDIDO, G. A. **Índice de Desenvolvimento Sustentável – IDS dos Estados brasileiros e dos municípios da Paraíba**. João Pessoa: Edições SEBRAE, 2008.

SEI - Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Indicadores de sustentabilidade ambiental**. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia e Universidade Federal da Bahia. – Salvador: SEI, 2006.

SILVA, Lucas da. **Índice de Sustentabilidade Ambiental Integrado da Sub-bacia Hidrográfica do Rio Banabuiú**, CE. 2017. 174f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA, Centro de Ciências Exatas e da Natureza – CCEN: Universidade Federal da Paraíba - UFPB, João Pessoa, 2017.

VAN BELLEN, Hans Michael. **Indicadores de Sustentabilidade: Uma análise comparativa**. Santa Catarina, 2002. 235f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Curso de Pós- Graduação em Engenharia de Produção: Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Santa Catarina, 2002.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade: Uma Análise Comparativa**. 2. ed. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

VERONA, L. A. F. **Avaliação de sustentabilidade em agroecossistemas de base familiar e em transição agroecológica na região sul do Rio Grande do Sul**. 2008. 193 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Ciências: Produção VegetalDoutorado) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas. 2008.

PROPOSTA EXPERIMENTAL DE MEDIÇÃO DE CORRENTE ELÉTRICA ATRAVÉS DA TEMPERATURA

EXPERIMENTAL PROPOSAL FOR MEASURING ELECTRIC CURRENT THROUGH TEMPERATURE

Marcos Vinicius Tomás Olegario

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
contato.marcos912@gmail.com

Luiza Clara de Moraes Ventura

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
luizaventura@gmail.com

Emanuel Percínio Gonçalves de Oliveira

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
emanuelpercínio@gmail.com

Letícia Vieira da Silva

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
letiiciavieira42@gmail.com

Maurício Soares de Almeida

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Brasil
mauricio.almeida@ifce.edu.br

RESUMO

No presente trabalho, propõe-se apresentar uma nova proposta experimental para a determinação da corrente elétrica em um circuito qualquer através da utilização de um Módulo de Refrigeração Peltier (pastilha Peltier) com um sensor de temperatura acoplado a ele, onde, a partir da temperatura registrada por este, conseguimos determinar a corrente elétrica que flui pelo circuito e registrá-la em um monitor com o auxílio de uma determinada programação feita em um Arduino UNO. Ainda apresentando conceitos da termoeletricidade, o trabalho toma como justificativa a necessidade de buscar novas metodologias experimentais, explorando conceitos teóricos em materiais de fácil acesso no mercado, para que cada vez mais docentes possam apresentar estes experimentos a suas turmas, como forma de despertar o interesse dos alunos pelas ciências, evitando as consequências do analfabetismo científico e contribuindo com a formação de uma sociedade mais democrática no âmbito da valorização da educação em ciências, em especial, na física.

Palavras-chave: Termoeletricidade. Ensino de Física. Aula Experimental.

ABSTRACT OR RESUMEN

In the present work, it is proposed to present a new experimental proposal for the determination of electrical current in any circuit using a Peltier Cooling Module with a temperature sensor attached to it, which, based on the temperature recorded by it, we can determine the electric current that flows through the circuit and register it on a monitor with the aid of a certain programming done on an UNO Arduino. Still presenting concepts of thermoelectricity, the work takes as a justification the need to explore new experimental methodologies, exploring theoretical concepts in materials that are easily accessible in the market, so that more and more teachers can present these experiments to their classes, as a way of arousing students' interest in science, avoiding the consequences of scientific illiteracy and contributing to the formation of a more democratic society within the scope of valuing education in science, especially in physics.

Keywords: Thermoelectricity. Physics Teaching. Experimental Class.

1. INTRODUÇÃO

É preocupante a situação educacional do Brasil. A desvalorização da ciência no atual cenário político-social, com cada vez mais cortes de verba direcionados às pesquisas e universidades, é reflexo de uma falta de interesse por parte da sociedade e de governantes na educação. Tal fato afeta diretamente na formação científica dos estudantes, que se veem desmotivados a seguirem carreira acadêmica, o que resulta em um analfabetismo científico por parte dos estudantes, sendo prejudicial não apenas na física, mas também na saúde, segurança e desenvolvimento tecnológico do país.

Tendo em vista este cenário educacional, uma importante ferramenta para atrair a atenção dos estudantes ao estudo de ciências e contribuir com as suas formações acadêmicas, principalmente nas áreas das exatas, consiste em promover a realização de atividades experimentais. Contudo, a falta de equipamentos nas instituições — um cenário que se agrava ainda mais na rede pública — e os custos gerados por estas atividades, impossibilitam a sua realização, o que, além de dificultar a fixação dos conteúdos aprendidos em sala de aula, contribui com a formação de alunos que possuem determinado conhecimento teórico mas que apresentam pouca, ou nenhuma, noção da aplicação experimental dos conceitos estudados.

A partir dessa problemática, surge a necessidade de inovar em metodologias e em pesquisas relacionadas ao ensino de física, também, utilizando-se de materiais de baixo custo, para que mais professores e educadores possam disseminar os experimentos com seus alunos. Um dos meios, apresentado nesse artigo, é uma nova proposta experimental a partir de conceitos físicos que podem ser transmitidos aos estudantes por meio de materiais simples e de fácil acesso no mercado, como é o caso, a Pastilha Peltier.

Este trabalho foi construído tomando como base um artigo produzido por alunos para o Torneio Internacional de Jovens Físicos (IYPT), uma olimpíada científica cujo objetivo de um dos experimentos propostos era a construção de um instrumento capaz de realizar medições de corrente elétrica através de efeitos termoelétricos. Tendo isso em vista, o seguinte trabalho visa debater uma nova proposta de medição de corrente elétrica por meio da temperatura, apresentando alguns conceitos da termoeletricidade, o processo de construção desse instrumento e, em seguida, uma análise e discussão a partir dos resultados obtidos.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 Efeitos de aquecimento

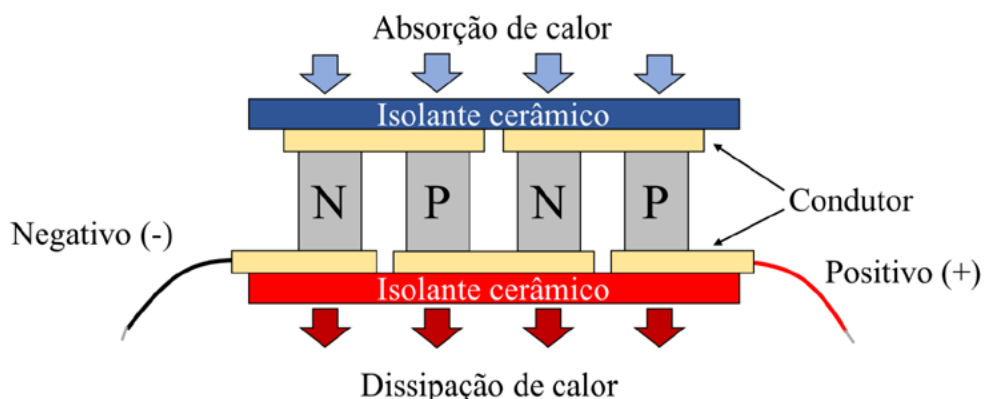
A fundamentação teórica de nossa proposta experimental consiste na compreensão dos conceitos relacionados ao estudo dos efeitos termoelétricos, em especial, do Efeito Peltier, o qual será utilizado em nosso experimento.

Corrente elétrica e temperatura são duas grandezas físicas distintas, entretanto, elas se relacionam através dos efeitos termoelétricos como, por exemplo, os efeitos de aquecimento provocados por uma corrente elétrica sobre uma carga presente em um circuito qualquer. Comumente, quando nos referimos aos efeitos de aquecimento sobre uma carga em um circuito elétrico, nos vem à cabeça o Efeito Joule, entretanto, este não é o único. Os cientistas Thomas Seebeck e Jean Peltier, ainda no Século XIX, descobriram os efeitos que levam seus nomes e são a base da termoeletricidade (MOURA, José A. S. 2010). Diferente do Efeito Joule, no qual a temperatura é a mesma para toda a carga, o Efeito Peltier é responsável em criar um gradiente de temperatura ao longo de uma junção metálica de materiais diferentes, conhecida como termopar, quando estes são submetidos a uma diferença de potencial. Este efeito também é conhecido como o inverso do Efeito Seebeck, que consiste na produção de corrente elétrica através de uma variação de temperatura na carga. Ambos os efeitos, na verdade, representam diferentes manifestações de um mesmo fenômeno físico.

A principal aplicação prática dos efeitos apresentados, produzida em larga escala e utilizada industrialmente, são os Módulos de Refrigeração Peltier, ou Pastilha Peltier, como também são chamados. O dispositivo consiste no arranjo de duas placas paralelas de materiais com boa condutividade térmica, geralmente cerâmicas, onde o seu interior é revestido por materiais semicondutores dopados tipo “n” e tipo “p”, conforme a figura 1. Quando uma corrente elétrica é aplicada em seus terminais, é ocasionada uma diferença de temperatura, provocando uma absorção de calor em uma face e a dissipação em outra.

Esperamos que este trabalho possa contribuir e também servir de inspiração para que mais professores e educadores possam continuar a serviço da divulgação científica, no combate às desinformações relacionadas a física e contribuindo com a aprendizagem de alunos através de novas metodologias a serem utilizadas dentro e fora das salas de aula.

Figura 1 — Esquema de funcionamento de uma pastilha Peltier.



Esperamos que este trabalho possa contribuir e também servir de inspiração para que mais professores e educadores possam continuar a serviço da divulgação científica, no combate às desinformações relacionadas a física e contribuindo com a aprendizagem de alunos através de novas metodologias a serem utilizadas dentro e fora das salas de aula.

Além de sua utilização industrial, as pastilhas Peltier apresentam diversas aplicações práticas, como, por exemplo, a refrigeração de dispositivos em circuitos menores, e podem ser utilizadas nas salas de aulas como meio de transmitir os conhecimentos teóricos acerca dos *efeitos termoelétricos* através da sua utilização em atividades experimentais.

2.1 Proposta experimental

Com um sensor de temperatura acoplado a uma pastilha Peltier, podemos determinar a corrente que flui em um circuito através da temperatura sobre ela. Estando os terminais da pastilha ligados em série a um circuito qualquer no qual se pretende determinar a corrente, a pastilha irá aquecer com o fluxo de elétrons, o sensor vai registrar essa temperatura e mandar para um arduino que, com determinada programação, irá relacionar os valores de temperatura registrados pelo sensor com a corrente que flui pelo circuito e exibir tais valores em um monitor.

Devemos ressaltar que a corrente que flui pelo circuito não será totalmente convertida em calor na pastilha Peltier, existindo então perdas de energia que influenciarão na precisão e exatidão de nosso instrumento. Tais perdas podem ser debatidas em sala de aula, como meio de mostrar as diferenças entre a física experimental e a física que encontramos nos livros didáticos, que, segundo Aguinaldo (2016), apresentam

“idealizações” (ignorar o atrito, considerar os sistemas perfeitamente isolados, etc.) que muitas vezes levam a descrições equivocadas dos fenômenos naturais.

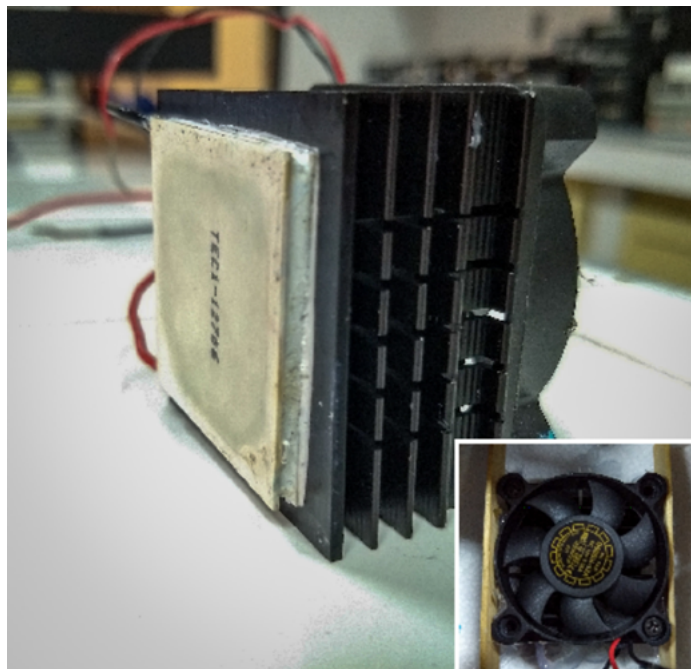
3. METODOLOGIA

Para a construção desse instrumento, optou-se pela utilização de materiais de baixo custo e fácil acesso no mercado, de modo que mais pessoas possam reproduzir o experimento, sendo descritos a seguir:

- 1 pastilha termoelétrica Peltier TEC1-12706, 40 x 40 mm;
- 1 sensor de temperatura LM35;
- 1 Arduino Uno para a programação do sensor;
- 1 *cooler* 12V DC + dissipador de calor;
- 1 bateria 9V DC;
- 1 Multímetro digital;
- Pasta térmica;
- Fios e conectores.

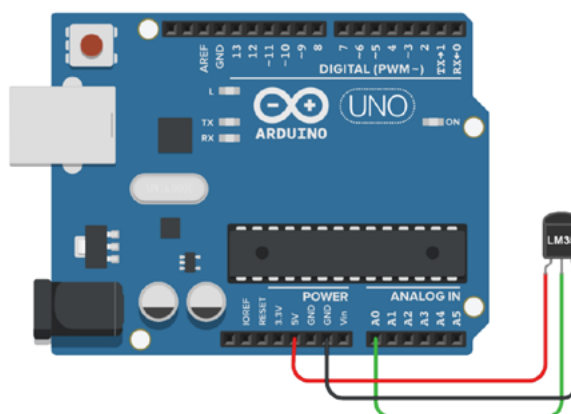
Inicialmente, foi acoplado um *Cooler* ligado como resfriador na parte fria da pastilha, com a finalidade de evitar que ela entre em equilíbrio térmico com a parte quente e acabe comprometendo com a obtenção dos dados.

Figura 2 — Acoplamento do Cooler na pastilha



Utilizando-se pasta térmica e fita isolante, foi acoplado um o sensor LM35 na parte quente da pastilha Peltier, ligado para a obtenção dos valores de temperatura, a sua escolha se deveu em razão deste ser o mais comum no mercado. Os terminais do sensor foram ligados nos pinos positivo, negativo e na entrada analógica do Arduino, conforme o esquema da figura 3.

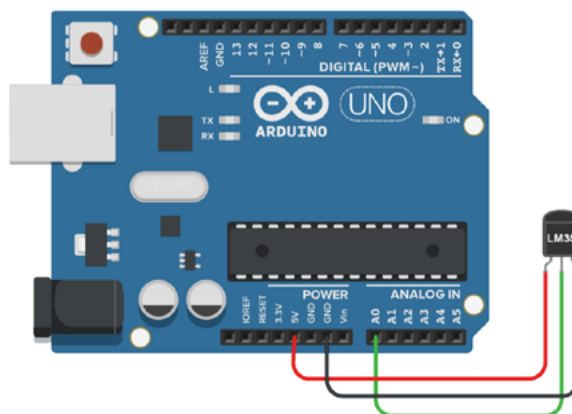
Figura 3 — Ligações do Sensor LM35.



Após a conexão dos terminais do sensor LM35, para realizar a medição da temperatura da pastilha Peltier, foi adicionado o código da figura 4 no Arduino UNO,

o qual este será responsável por fazer a leitura da temperatura e exibi-la no monitor serial de um notebook. Em seguida, ligou-se o *Cooler* conectando-o a uma bateria de 9V. Para a calibração do instrumento, os terminais da pastilha foram conectados em série a um circuito composto por uma fonte de corrente. Após este processo, realizou-se as medições de corrente e temperatura.

Figura 4 — Programação para os valores de temperatura



Pelo fato de a fonte de corrente possuir um circuito interno e com o objetivo de aumentar a exatidão das medidas, foi conectado em série ao circuito um multímetro configurado como Amperímetro, no qual os valores anotados de corrente foram os registrados por ele e não os apresentados no monitor da fonte

Figura 5 — Instrumento finalizado



3.1 Calibração do instrumento

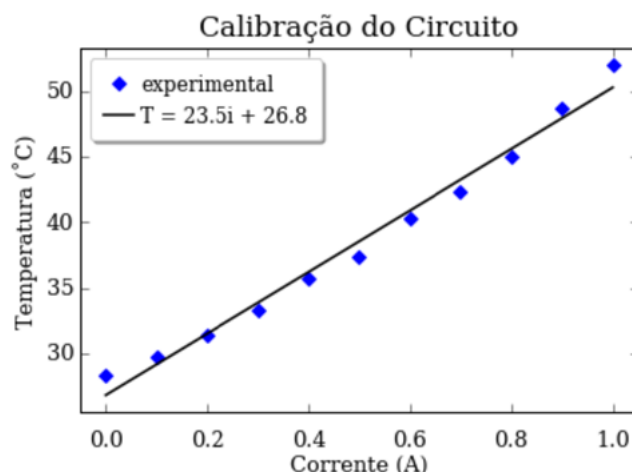
Após a montagem do aparato experimental, ligou-se a fonte de corrente e começou-se a realizar medições acerca dos valores de temperatura registrados pelo sensor e apresentados no monitor serial do notebook, variando a corrente elétrica fornecida pela fonte em um intervalo de 0 a 1 amper, conforme ilustrado na tabela 1. Cabe ressaltar que os valores de corrente elétrica tabelados foram os apresentados pelo multímetro configurado como amperímetro, sendo a fonte necessária apenas para fornecer a corrente elétrica necessária para a calibração do instrumento.

Tabela 1 — Temperatura em função da corrente na pastilha Peltier.

Corrente (A)	Temperatura (°C)			Média (°C)
	Med. 1	Med. 2	Med. 3	
0,00	28,00	29,00	28,00	28,33
0,10	29,00	30,00	30,00	29,67
0,20	31,00	31,00	32,00	31,33
0,30	33,00	33,00	34,00	33,33
0,40	35,00	36,00	36,00	35,67
0,50	37,00	37,00	38,00	37,33
0,60	39,00	41,00	41,00	40,33
0,70	41,00	43,00	43,00	42,33
0,80	43,00	46,00	46,00	45,00
0,90	46,00	50,00	50,00	48,67
1,00	49,00	54,00	53,00	52,00

Em seguida, com os valores de temperatura encontrados, foi traçado um gráfico relacionando a temperatura média medida pelo sensor em cada medição em função da corrente elétrica registrada pelo multímetro.

Gráfico 1 — Temperatura da pastilha Peltier em função da corrente.



Observa-se que o gráfico é característico de uma função de primeiro grau, a partir desta informação, foi determinada a sua equação através de uma regressão linear no qual, isolando-se a corrente, chegamos na seguinte relação:

$$i = \frac{T-26.8}{23.5} \quad (1)$$

no qual i representa a corrente elétrica que flui pelo circuito, medida pelo multímetro, e T a temperatura do lado quente da pastilha de Peltier, registrada pelo sensor LM35. A partir destas análises, adicionou-se tal equação a programação do Arduino, conforme a figura 6.

Figura 6 — Programação que determina a corrente do circuito

```

1  int temp; // Temperatura
2  double i; // Corrente Elétrica
3
4  void setup()
5  {
6    Serial.begin(9600);
7    pinMode(A0, INPUT);
8  }
9
10 void loop()
11 {
12   // Faz a leitura da temperatura:
13
14   temp = map(analogRead(A0),0,1023,0,500);
15   Serial.print("Temperatura: ");
16   Serial.println(temp);
17
18   // Descobre a corrente elétrica:
19
20   i = (temp-26.8)/23.5;
21   Serial.print("Corrente: ");
22   Serial.println(i);
23
24   // Espera por 300 milisegundos:
25
26   delay(300);
27 }
28

```

A adição da equação à programação do Arduino teve como objetivo fazer com que este seja capaz de determinar, aproximadamente, a corrente elétrica que flui pelo circuito em função da temperatura da pastilha Peltier, registrada pelo sensor LM35. Cabe ressaltar que as linhas de programação com o código `Serial.print()`; e `Serial.println()`; têm como objetivo mostrar os valores de temperatura e corrente no monitor serial do notebook, ou computador, no qual o Arduino está conectado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a montagem do aparato experimental e a calibração do instrumento, foram realizadas novas medições da corrente elétrica do circuito, utilizando-se um multímetro e o instrumento, a fim de comparar os valores registrados e determinar as especificações do aparato — como a sua precisão, exatidão, limite de operação e o erro experimental —, conforme registrado na seguinte tabela:

Tabela 2 — Comparação dos valores de corrente registrados pelo instrumento.

Corrente Multímetro (A)	Corrente Instrumento (A)			Média (A)
	Med. 1	Med. 2	Med. 3	
0,10	0,09	0,14	0,14	0,12
0,20	0,18	0,18	0,22	0,19
0,30	0,26	0,26	0,31	0,28
0,40	0,35	0,39	0,39	0,38
0,50	0,43	0,43	0,48	0,45
0,60	0,52	0,60	0,60	0,58
0,70	0,60	0,69	0,69	0,66
0,80	0,69	0,82	0,82	0,77
0,90	0,82	0,99	0,99	0,93
1,00	0,94	1,16	1,11	1,07

Para realizar tal comparação dos valores registrados de corrente, foram feitas 3 medições com o instrumento e calculado a sua média. A partir dos dados expressos nesta tabela, conseguimos extrair algumas informações a respeito das medições realizadas, analisando-as para cada valor de corrente elétrica registrado.

Em primeira análise, após a realização das novas medições de corrente com o instrumento, determinou-se o desvio padrão absoluto apresentado por cada valor de corrente elétrica medido — conforme mostra a tabela 3 — e, em seguida, calculou-se a sua média para tomar tal valor como base para o instrumento por completo. O valor do desvio padrão absoluto médio apresentado pelo dispositivo foi de 0,052.

Posteriormente, determinou-se o desvio padrão relativo para cada valor de corrente elétrica medido — também mostrado na tabela 3 — e calculou-se a média dos valores encontrados, chegando-se ao número de 10,68% para a média do desvio padrão relativo. A partir destes valores encontrados, concluímos que o instrumento apresenta uma boa precisão, não havendo grandes discrepâncias entre os diferentes valores de corrente elétrica registrados por ele.

Após calculado o desvio padrão absoluto e o desvio padrão relativo do instrumento, foi determinado o erro relativo e o erro absoluto apresentado por cada uma de suas medições de corrente elétrica. Em seguida, assim como para os desvios, foi realizado um cálculo de média entre os valores dos erros encontrados para cada medição, de modo a tomar este valor como base para o instrumento por completo.

As médias dos valores dos erros absoluto e relativo encontrados para o experimento foram de 0,03 e 6,98%, respectivamente.

Os valores dos erros relativo e absoluto encontrados demonstram que o nosso instrumento apresenta uma boa exatidão, conseguindo manter uma aproximação aceitável entre os valores de corrente elétrica registrados por ele e o valor real, registrado pelo multímetro.

Tabela 3 — Especificações do instrumento

Corrente Multímetro (A)	Corrente Instrumento - Média (A)	Desvio Padrão Absoluto (A)	Desvio Padrão Relativo (%)	Erro Absoluto Médio (A)	Erro Relativo Médio (%)
0,10	0,12	0,029	24,30	0,02	20,00
0,20	0,19	0,023	12,34	0,01	5,00
0,30	0,28	0,029	10,41	0,02	6,67
0,40	0,38	0,023	6,17	0,02	5,00
0,50	0,45	0,029	6,48	0,05	10,00
0,60	0,58	0,047	8,09	0,02	3,33
0,70	0,66	0,052	7,87	0,04	5,71
0,80	0,77	0,075	9,80	0,03	3,75
0,90	0,93	0,098	10,56	0,03	3,33
1,00	1,07	0,115	10,78	0,07	7,00

Cabe ressaltar que as medições foram realizadas entre o intervalo de 0 e 1 amper, de modo a respeitar o limite de temperatura que pode ser registrado pelo sensor LM35, especificado no *datasheet* do dispositivo, e o limite de operação de nossa fonte de corrente. Sendo este intervalo, então, os limites de operação do instrumento construído.

Esses dados expressam que, mesmo utilizando-se de materiais simples, conseguimos uma boa performance em nosso instrumento, com valores medidos por ele que satisfazem os registrados no multímetro. Cabe destacar as principais causas das perdas de energia que resultam em resultados ainda diferentes, porém não tão discrepantes, dos registrados no multímetro, como as dissipações por efeito Joule, baixa precisão do sensor e perdas caloríficas da pastilha Peltier para o ambiente externo.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS / CONCLUSÕES

A partir das discussões realizadas e dos resultados obtidos no presente artigo, concluímos que as atividades experimentais possuem um importante potencial para contribuir com o aprendizado e desenvolvimento científico dos estudantes, contudo, nem todas as escolas e instituições dispõem de estrutura e nem equipamentos para a sua realização. A partir disso, surge a importância de investir em pesquisas relacionadas ao ensino de física, como forma de contribuir com o aprendizado dos estudantes, transmitindo novas atividades que despertem o interesse dos jovens pelas ciências exatas e possibilitem a eles uma nova visão de mundo, não limitada somente ao quadro branco e as aulas teóricas.

Um dessas atividades, apresentada neste artigo, consistiu na realização de uma nova proposta experimental de determinação da corrente elétrica que flui em um circuito a partir da temperatura de uma pastilha Peltier, registrada por um sensor LM35. Foram explorando conceitos da termoeletricidade, dentre eles, o Efeito Peltier, de modo a incentivar o seu estudo por parte dos estudantes e o conhecimento acerca das suas principais aplicações práticas, como é o caso, a pastilha Peltier. Ainda, a partir dos resultados obtidos com o instrumento, conseguimos extrair importantes informações estatísticas que nos permitiram determinar as especificações de nosso aparato.

Mesmo dispondo de materiais de baixo custo e fácil acesso no mercado, conseguimos resultados satisfatórios com nosso instrumento. Os valores de 10,68% e 6,98% encontrados para o desvio padrão absoluto médio e o erro relativo médio, respectivamente, acerca das medições de corrente elétrica realizadas, demonstraram que o instrumento construído apresentou uma boa precisão e exatidão, com os valores registrados não apresentando grandes discrepâncias e sendo próximos dos valores reais, medidos com o multímetro. Além disso, os valores encontrados ainda possibilitam a realização de discussões e reflexões a respeito de perdas de energia que muitas vezes são passados em branco nas salas de aula.

Esperamos que, com este artigo, possamos ter contribuído com a pesquisa em ensino de física, apresentando uma nova proposta experimental, a fim de que esta possa ser utilizada com liberdade nas mais diversas metodologias experimentais por outros docentes que tenham interesse.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Maurício Soares de. Construção de uma Maquete do Sistema Solar com Controle de Temperatura para Alunos com Deficiência Visual. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo , v. 42, 2020. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172020000100603&lng=en&nrm=iso&tlng=pt>. Acesso em Outubro de 2019.

GLEISER, Marcelo. Por que ensinar Física? **Física na Escola**, v. 1, n. 1, p. 4-5, 2000.

GOLDSMID, JULIAN, H. **Introduction to thermoelectricity**, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006.

MOURA, José Américo de Sousa. **Filmes nanométricos de FeN e AlN crescidos por Sputtering e aplicações do efeito Peltier**. c. 6. p. 97-112. 2010.

PATTERSON, G.; SOBRAL, M. **Efecto Peltier**, Departamento de Física FCEyN, Universidad de Buenos Aires. Dic (2007).

SANTOS, Aguinaldo Valdecir dos. **As pastilhas TERMOPAR nas aulas experimentais de termologia**. 2017.

VALADARES, E. C. Novas estratégias de divulgação científica e revitalização do ensino de Ciências na escola. **Física na Escola**, v. 2, n. 2, p. 10-13, 2001.

USO DE MACRÓFITAS AQUÁTICAS DA ESPÉCIE *PISTIA STRATIOTES* COMO BIOINDICADORES DE POLUIÇÃO NO RIO APODI/MOSSORÓ - RN

USE OF AQUATIC MACROPHYTES OF THE *PISTIA STRATIOTES* SPECIES AS POLLUTION BIOINDICATORS IN RIVER APODI/MOSSORÓ - RN

Andreza Rafaella Oliveira Alves

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
dezahalves@outlook.com

Nilson Francisco da Silva

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
nylsonsilva23@gmail.com

Daniel Freitas Freire Martins

Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
dffm@ufersa.edu.br

RESUMO

A ação antropogênica tem contribuído significativamente para a alteração da qualidade da água. Um método sustentável de monitoramento do nível de poluição é o uso de bioindicadores. Nesse processo, as macrófitas aquáticas assumem um papel de destaque. Dessa forma, esse trabalho objetivou verificar a possibilidade de utilização da *Pistia stratiotes* como bioindicador de poluição no trecho do Rio Apodi/Mossoró que corta a cidade de Mossoró. As análises foram realizadas conforme o Manual de Análise Química de Solos, Plantas e Fertilizantes da EMBRAPA (1999) e Standard Methods of APHA (2006). A partir das análises realizadas pode-se constatar que, de forma geral, os elementos estão em maiores concentrações no tecido vegetal do que na água, merecendo destaque alguns metais como K, Al e Cu, comprovando a boa capacidade da *Pistia stratiotes* na absorção dos elementos presentes em seu habitat e a sua viabilidade como bioindicador de poluição.

Palavras-chave: Poluição. Água. Metais pesados.

ABSTRACT OR RESUMEN

The anthropogenic action has contributed significantly to change the water quality. A sustainable method of monitoring the level of pollution is the use of bioindicators. In this process, aquatic macrophytes assume a prominent role. Thus, this work aimed to verify the possibility of using *Pistia stratiotes* as a bioindicator of pollution in the stretch of the Apodi/Mossoró River that cuts through the city of Mossoró. The analyzes were carried out according to the Chemical Analysis of Soils, Plants and Fertilizers Manual of EMBRAPA (1999) and Standard Methods of APHA (2006). From the analyzes carried out, it can be seen that, in general, the elements are in higher concentrations in plant tissue than in water, with some metals such as K, Al and Cu deserving mention, proving the good ability of *Pistia stratiotes* to absorb elements present in its habitat and its viability as a bioindicator of pollution.

Keywords: Pollution. Water. Heavy metals.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a sobrevivência na terra. Porém, a mesma não está sendo cuidada com a devida importância (NASSIN, 2005). Nas últimas décadas, com o desenvolvimento industrial e tecnológico e com o crescimento desenfreado das cidades, a variedade e quantidade de resíduos lançados no meio ambiente é crescente, ocasionando a degradação dos recursos ambientais, afetando de forma direta ou indireta todos os ecossistemas.

As atividades antrópicas tais como o lançamento de resíduos, mineração, construções de barragens, desmatamentos, entre outras, são as principais causas de impactos ambientais nos ecossistemas aquáticos provocando a extinção da biodiversidade e a diminuição da qualidade da água.

É de grande relevância mundial ferramentas de purificação e qualificação das águas. A descoberta da capacidade de absorção de poluentes por algumas espécies vegetais consistiu em uma ferramenta fundamental para o monitoramento da qualidade das águas e a avaliação desses impactos ambientais através desses bioindicadores de poluição. Algumas espécies de plantas são acumuladoras de altas quantidades de poluentes, e podem ser utilizadas para estimar o nível de poluição baseada na concentração de poluente encontrado no seu organismo (MAVIOSO, 2010).

Nesse trabalho será estudado o uso de macrófitas aquáticas como bioindicadores de poluição no rio Apodi - Mossoró, por serem elas, plantas com características favoráveis para acumulação de poluentes, tais como metais pesados. Ao serem encontrados nas águas, estes elementos podem causar grandes perturbações no funcionamento do ecossistema local, bem como na saúde humana, em caso de consumo, sendo o descarte de efluentes industriais e domésticos a principal causa de contaminação (ALMEIDA, 2013).

O monitoramento temporal dessas plantas nos traz informações valiosas sobre a atuação de atividades antrópicas nessas águas, pois as plantas são sensíveis a essas atividades. O desequilíbrio de nutrientes na água pode ocasionar desaparecimento de espécies ou a multiplicação delas, onde cada espécie costuma reagir de maneira característica própria. Esses 18 levantamentos darão informações valiosas sobre a qualidade da água e manejo das plantas (MAVIOSO, 2010).

O rio Apodi - Mossoró ocupa cerca de 27% do Rio Grande do Norte, sendo um dos mais importantes recursos hídricos da região oeste potiguar, possui uma superfície de 14.276 km², com sua origem no município Luiz Gomes (RN) em uma altitude de 700 metros, cortando 51 municípios, sendo destacados nesse discurso os centros urbanos,

Pau dos Ferros, Apodi, Governador Dix-Sept Rosado e Mossoró, locais esses escolhidos neste trabalho como pontos de coleta das macrófitas para avaliação do nível de poluente da água do rio (OLIVEIRA JÚNIOR, 2009).

Atualmente, em diversos trechos, a utilização da água do Rio Apodi-Mossoró para consumo não é recomendada por motivo de seu alto índice de poluição. Foram encontrados nas últimas avaliações de sua água, além de lixo e coliformes fecais, substâncias altamente prejudiciais como chumbo, nitratos e nitritos (ARAÚJO *et al.*, 2007). Por tal situação é de fundamental importância a implantação de projetos para recuperação e monitoramento desse rio de grande valor no território potiguar (MARQUES *et al.*, 2011).

Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo verificar a possibilidade de utilização de macrófitas aquáticas da espécie *Pistia stratiotes* como bioindicadores de poluição no trecho do Rio Apodi/Mossoró que corta a cidade de Mossoró, no Estado do Rio Grande do Norte, Brasil.

2.FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Em décadas passadas acreditava-se que a água era um bem inesgotável, na qual não havia preocupação com sua conservação. Porém, com o passar dos anos, essa teoria foi quebrada e, infelizmente, hoje, várias regiões do planeta já passam por escassez desse bem vital.

A terra é composta por 71% de água, sendo 97% dessa distribuição de águas salgadas, e apenas 3% de água doce. Dentro destes, 2,7% são águas subterrâneas e geleiras, ou seja, apenas 0,3% desse volume está disponível para o consumo humano (MILLER, 2008).

Diante desse valor limitado vem a extrema importância dos rios como fonte de abastecimento para o uso e consumo da sociedade. No entanto, os níveis de poluição desses recursos e a degradação dos ecossistemas dependentes dele são os maiores já registrados (BERNHARDT *et al.*, 2005).

O aumento urbano desordenado e as atividades antrópicas realizadas nesse processo são negativamente correlacionados aos recursos hídricos. A mudança da população do campo para zona urbana durante a revolução industrial, por exemplo, ocasionou o crescimento desenfreado das cidades, aumentando a produção de dejetos e esgotos que comumente não são tratados e acabam sendo despejada diretamente nos rios, além da redução da vegetação e área de drenagem e/ou modificação de

alguma ramificação do rio pela ocupação e construções na região, acarretando tanto a poluição desse recurso, como perda da flora e fauna daquela localidade (BERNHARDT *et al.*, 2005).

De acordo com Agência Nacional de Águas (ANA), o Brasil, dentro da distribuição mundial da água doce, encontra-se com 8% desse bem, sendo apenas 3% no nordeste do país, tornando essa área a mais carente desse recurso.

A região Nordeste é caracterizada pelo clima semiárido, composto por uma baixa umidade, poucos índices de chuvas, com fluxo maior apenas entre e os meses de fevereiro a junho e alta taxa de evaporação, atravessando grandes ciclos de secas e escassez, o que torna as bacias hidrográficas de extrema importância para esse local.

No estado do Rio Grande do Norte, a Bacia Hidrográfica do Rio Apodi/Mossoró, que se estende desde a nascente no município de Luiz Gomes, localizado na Serra do Major, até a sua foz, entre os municípios de Grossos e Areia Branca, tem um curso de 210 km de extensão. Esta bacia ocupa 14.276 km² (26,8% do Estado), e possui vazão de cerca de 360 milhões de m³/ano, sendo o mais importante recurso hídrico superficial de toda a região oeste potiguar (MARTINS *et al.*, 2008).

Embora em uma dimensão menor que no passado, o rio continua desempenhando papel determinante no desenvolvimento econômico da região, o que pode ser constatado pelas atividades agrícolas em suas margens, pelas microempresas ribeirinhas, pela pesca e outras atividades econômicas que se mantêm ativas, mesmo em locais onde há descarte de águas residuárias sem tratamento (MARTINS *et al.*, 2008).

Com o surgimento das primeiras comunidades em suas margens, o Rio Apodi/Mossoró passou a ser utilizado na dessedentação de animais, na navegação, interligando os municípios de Mossoró e Areia Branca, e para o próprio consumo humano (OLIVEIRA & QUEIROZ, 2008). Segundo Martins *et al.* (2008), Dantas *et al.* (2009) e Castro *et al.* (2012), apesar dos níveis de contaminação que vêm sendo evidenciados através de diversos trabalhos de monitoramento, as suas águas possuem uma grande variedade de riquezas naturais e é utilizada em atividades agropecuárias, na recreação, na pesca, na dessedentação de animais, na navegação, como agente diluidor, dentre várias outras atividades.

A ação antropogênica é um dos fatores que tem contribuído significativamente para a alteração das características físicas, químicas e biológicas dos ecossistemas aquáticos. O lançamento de águas residuárias domésticas, agrícolas e industriais sem tratamento adequado em rios e lagos pode provocar diversos problemas, como a eutrofização do ambiente, e a morte de peixes e outros seres vivos.

A poluição destes ambientes além de diminuir a qualidade das águas, afeta diretamente a vida de todas as espécies, sejam vegetais ou animais, que habitam e dependem daquele ecossistema para a sua sobrevivência. Desta forma, qualquer ação causadora de um desequilíbrio ambiental pode provocar a diminuição e até a extinção de espécies nativas, e o desenvolvimento desenfreado de espécies estranhas àquele ambiente, desencadeando o surgimento de diversos outros problemas.

Por este motivo, é importante que os ambientes aquáticos estejam sujeitos a monitoramentos constantes da sua qualidade físico-química e microbiológica, tendo em vista seus múltiplos usos e sua importância para a manutenção da saúde de todos aqueles que dependem direta e indiretamente destes ambientes. No entanto, o monitoramento baseado unicamente em análises físico-químicas da água, por exemplo, não rende a avaliação precisa dos poluentes que contaminam o ambiente e, por esse motivo, são necessárias outras ferramentas que complementem ou substituam essa análise inicial apenas da água para a obtenção de resultados mais precisos e assim se possa fazer um manejo adequado desse bem (BARSIGNE *et al.*, 2006).

Um método sustentável de monitoramento do nível de poluição das águas é o uso de bioindicadores, que seria um processo de análises através dos seres vivos daquele habitat. Esses seres possuem grande sensibilidade e respondem a qualquer variação de elementos no ambiente, assim, demonstrando relevantes informações sobre o meio estudado (LADSON *et al.*, 1999). Além disso, o uso de bioindicadores é recomendado também por estar associado a um baixo custo de investimento (THORNE & WILLIAMS, 1997).

Nesse tipo de processo de monitoramento, as macrófitas aquáticas podem assumir um papel de destaque na purificação da água através da fitorremediação, como também podem ser utilizados como bioindicadores, tornando-se agente representante das mudanças afetadas nesse local.

Como mencionado anteriormente, a avaliação da qualidade da água através da sua análise pode gerar resultados superficiais e imprecisos devido à água ser um solvente universal, podendo homogeneizar-se com substâncias tóxicas despejadas em um determinado local, transportando tais substâncias por seu fluxo hídrico. Sendo assim, uma amostra colhida em uma determinada localidade e em um período de tempo A, nunca será igual a uma segunda amostra colhida naquele mesmo local, mas em um período de tempo B, devido à água estar em fluxo constante.

Já considerando-se o uso das macrófitas como bioindicadores, pode-se citar como vantagem principal o fato das plantas aquáticas absorverem uma grande quantidade de metais pesados, armazenando-os em sua maioria nas raízes e, dessa

forma, através da análise química do tecido vegetal, pode-se obter informações mais reais sobre o estado de contaminação do ambiente (LOW & LEE, 1990). Além disso, há uma vasta variedade de espécies dessas plantas caracterizadas pelo poder de absorção dos nutrientes orgânicos e inorgânicos do ambiente, o que evidencia a sua viabilidade frente a diferentes condições ambientais.

3. METODOLOGIA

Os métodos de análises utilizados seguiram a recomendação da metodologia descrita no Manual de Análise Química de Solos, Plantas e Fertilizantes da EMBRAPA (1999) e Standard Methods of APHA (2006), os quais são descritos a seguir.

Foram realizadas coletas mensais, durante 5 meses, em um ponto localizado no trecho do Rio Apodi/Mossoró, que corta a cidade de Mossoró, sendo coletadas água e macrófitas aquáticas da espécie *Pistia stratiotes*.

As amostras de água foram coletadas sempre próximas às margens do rio, em garrafas de vidro âmbar, devidamente etiquetadas, acidificadas com 1,0 mL de HNO₃ concentrado por litro de amostra e conduzidas para o Laboratório de Química da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Caraúbas, para posterior análise.

As plantas aquáticas foram coletadas aleatoriamente, independente da idade ou tamanho, armazenadas em sacos plásticos e conduzidas para o laboratório da UFERSA para a limpeza e tratamento prévio.

Para as amostras de macrófitas aquáticas, as folhas e raízes foram separadas, lavadas com água da torneira e enxaguados exaustivamente com água destilada. Após este processo, as plantas foram colocadas em bandejas separadas e levadas para a estufa com circulação forçada de ar à 70°C para o processo de desidratação até peso constante, o que foi atingido com aproximadamente 2 dias. Depois de secas, foram trituradas separadamente e calcinadas a uma temperatura de 500°C por 3 horas. Em seguida as cinzas foram homogeneizadas utilizando almofariz e pistilo e armazenadas em frascos plásticos identificados, tampados, previamente limpos e secos, e encaminhadas para a análise de metais (Ca, Na, Mg, K, Al, Fe, Zn, Mn, Sr, Cu, Cr e Ni) por Fluorescência de raios-X no laboratório de química da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte - UERN.

Para a análise do teor de metais nas amostras de água foi necessária a realização prévia do procedimento de digestão ácida, de acordo com o método 3005 A da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA). Assim, em

um erlenmeyer, pipetou-se 100 mL da amostra de água acidificada no momento da coleta, adicionou-se 2,0 mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃), 5,0 mL de ácido clorídrico concentrado (HCl), e aqueceu-se a uma temperatura que variou entre 90 e 95°C em uma chapa aquecedora até a secagem completa da água e obtenção dos sais sólidos. Estes, por sua vez, foram acondicionados em um recipiente apropriado e encaminhados para o laboratório de química da UERN para a análise de metais (Ca, Na, Mg, K, Al, Fe, Zn, Mn, Sr, Cu, Cr e Ni) por Fluorescência de raios-X.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As coletas foram realizadas mensalmente entre junho e outubro de 2018, em um trecho do rio Apodi/Mossoró que corta a cidade de Mossoró. Nesse caso, devido o rio ser mutável diante das variações temporais climáticas da região, os resultados das análises também sofrem alterações decorrentes das mesmas.

O período característico chuvoso da região semiárida potiguar é no primeiro semestre do ano, entre os meses janeiro e julho, ocorrendo a escassez de chuvas depois desse período. De janeiro a julho de 2018 a precipitação média na região de Mossoró foi de 649,5 mm, conforme dados da EMPARN (2020).

Além do volume de chuvas, a relação dos elementos encontrados no rio também depende da localização do ponto de coleta, pois regiões de maiores atividades industriais e maior densidade demográfica, por exemplo, geram uma maior quantidade de resíduos que acabam sendo lançados de forma irregular no leito do rio, gerando maior acúmulo de poluentes.

Dessa forma, analisando os resultados apresentados na Tabela 1, de forma geral, pode-se observar que não existe um comportamento padrão a medida com que as coletas são realizadas mensalmente. Como o ponto de coleta é diretamente afetado pelas atividades antrópicas, um comportamento padrão é dificultado, e os resultados obtidos a partir da análise da água muitas vezes refletem um comportamento pontual, não sendo representativo das condições reais do corpo aquático. Este comportamento pode ser muito bem observado quando consideramos as concentrações de sódio na água. É possível observar uma variação aleatória e bastante significativa em seus valores à medida com que se avança nos meses de coleta.

O ponto de coleta da água e das macrófitas é localizado após o centro urbano da cidade de Mossoró, situado na ponte Leste/Oeste, sendo o centro de Mossoró um grande polo industrial e econômico da região. Decorrente dessa localização, o ponto se torna o ambiente que recebe intensa ação dessas atividades, com grande

quantidade de dejetos lançados em seu leite, possuindo um teor elevado de poluentes, fato este também observado em trabalhos anteriores (MARTINS *et al.*, 2008; MARTINS *et al.*, 2011).

Tabela 1 — QUANTIDADE DE ELEMENTOS NA ÁGUA(%)

Quantidade dos elementos (%)	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 5
Ca	44,300	24,431	17,044	13,558	28,118
Na	1,782	0,00	29,954	35,294	0,000
Mg	18,311	8,805	20,815	28,270	36,319
K	4,115	0,562	2,255	3,788	7,155
Al	1,171	0,376	0,621	0,743	0,994
Fe	0,722	0,162	14,853	1,106	0,567
Zn	0,033	0,009	0,012	0,005	0,000
Mn	0,070	0,013	0,071	0,046	0,071
Sr	0,286	0,042	0,193	0,137	0,375
Cu	0,000	0,019	0,040	0,000	0,227
Cr	0,000	0,019	0,341	0,024	0,000
Ni	0,013	0,000	0,000	0,021	0,000

Fonte: O autor (2020)

A possibilidade de utilização de macrófitas aquáticas como bioindicadores de poluição se dá em função das plantas utilizarem os “poluentes” presentes no ambiente como fonte de energia para o seu desenvolvimento. Elementos essenciais como Ca, Mg e K são absorvidos pelas raízes e translocados para a parte aérea mediante a necessidade da planta. No entanto, elementos que não são considerados essenciais como Cr, Al e Ni, mas que apresentam características químicas semelhantes aos demais como, por exemplo, os tamanhos iônicos, acabam competindo com macro e micronutrientes e são absorvidos e concentrados no tecido vegetal. Este comportamento é que permite diversas espécies serem utilizadas como bioindicadores de poluição.

Alguns estudos, por exemplo, classificam a *Pistia stratiotes* (espécie estudada neste trabalho) (Figura 1) como uma espécie que apresenta forte ação absorvedora em relação ao cádmio, chumbo e arsênio (OLIVEIRA, 2010). Para outras espécies como, por exemplo, a *Eichhornia crassipes*, Gonçalves Júnior *et al.* (2008) a configura como acumuladora de cádmio, chumbo e cromo.

Figura 1 — *PISTIA STRATIOTES* PRESENTE NO PONTO DE COLETA ESTUDADO



Fonte: O autor (2020)

Apesar dos excelentes resultados, muitos dos trabalhos realizados com macrófitas aquáticas não envolvem o ambiente natural, ficando restritos a efluentes sintéticos e ambientes com condições controladas. No entanto, a respostas dessas plantas a um ambiente altamente complexo como o natural, pode se apresentar diferente do observado em escala laboratorial. Por este motivo é importante o conhecimento do seu comportamento como bioindicador no rio Apodi/Mossoró.

Dessa forma, ao analisarmos os resultados obtidos a partir da análise química do tecido vegetal das macrófitas aquáticas da espécie *Pistia stratiotes* no trecho do rio Apodi/Mossoró que corta a cidade de Mossoró (Tabela 2), pode-se constatar que praticamente todos os elementos químicos quantificados na água estão presentes em quantidades próximas ou superiores no tecido vegetal.

Tabela 2 — QUANTIDADE DOS ELEMENTOS NAS FOLHAS E RAÍZES DA *PISTIA STRATIOTES* (%)

Quantidade (%)	Coleta 1		Coleta 2		Coleta 3		Coleta 4		Coleta 5
	FPS	RPS	FPS	RPS	FPS	RPS	FPS	RPS	-
Ca	22,435	13,320	18,988	19,182	33,035	22,869	30,229	22,670	AP
Na	13,147	0,000	9,817	0,000	0,000	0,000	12,856	0,000	AP
Mg	11,193	11,746	11,374	9,278	12,283	9,059	15,288	12,647	AP
K	17,144	33,882	16,887	12,212	14,552	12,252	6,741	8,769	AP
Al	5,431	5,170	6,827	12,920	4,555	10,495	4,594	9,866	AP
Fe	1,538	1,201	2,623	7,520	2,168	5,572	1,916	5,401	AP
Zn	0,033	0,041	0,037	0,061	0,050	0,049	0,024	0,045	AP
Mn	1,221	4,050	1,063	3,085	0,736	1,708	0,496	1,733	AP
Sr	0,053	0,053	0,060	0,051	0,106	0,070	0,141	0,097	AP
Cu	0,021	0,027	0,019	0,029	0,029	0,028	0,023	0,031	AP
Cr	0,000	0,000	0,000	0,014	0,012	0,003	0,011	0,005	AP
Ni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,007	AP

FPS: Folha da *Pistia stratiotes*; RPS: Raíz da *Pistia stratiotes*; AP: Ausência de plantas.

Fonte: O autor (2020)

De forma geral, macronutrientes, devido a sua maior essencialidade, tendem a serem absorvidos e acumulados na parte aérea da planta, enquanto que micronutrientes e elementos não essenciais ou metais pesados, tendem a se acumular nas raízes. No entanto, alguns comportamentos distintos podem ser observados em função de diversos fatores como, por exemplo, a

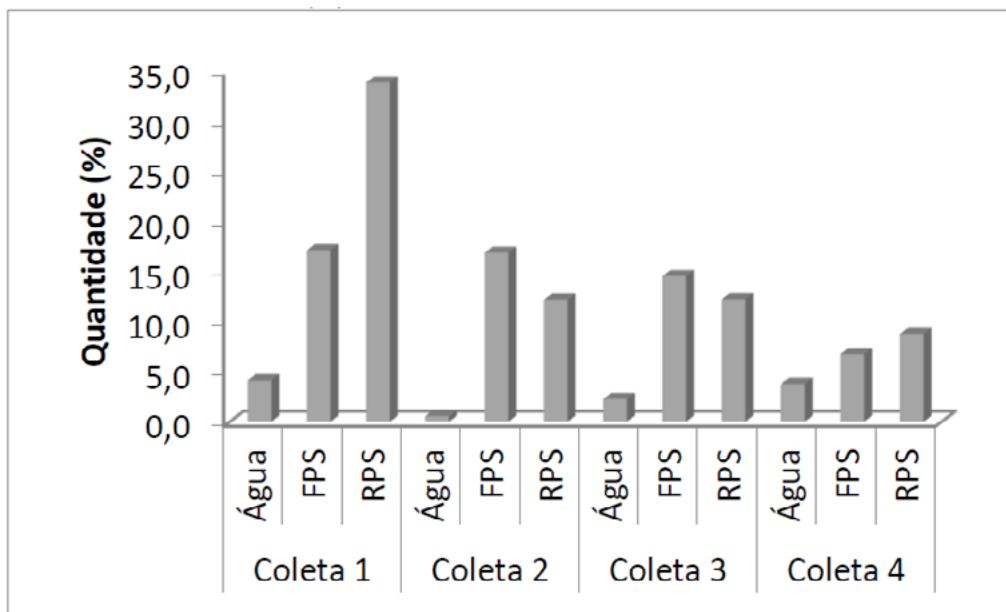
concentração desses elementos que não são essenciais no meio. Em função disso, elementos não essenciais acabam competindo com macro e micronutrientes e são absorvidos e concentrados no tecido vegetal, conferindo a planta a possibilidade de serem utilizadas como bioindicadores.

É importante destacar ainda que na quinta coleta realizadas no presente trabalho, não foram encontradas plantas da espécie *Pistia stratiotes* no local de coleta. Por se tratarem de plantas flutuantes livres, é provável que um aumento do fluxo de água tenha carregado as plantas em direção a foz do rio, ou que alguma alteração na composição do meio tenha ocasionado a morte das mesmas, sendo esta última a mais provável, já que nesta época do ano o fluxo do rio é praticamente interrompido em função da redução do volume de água.

Para facilitar a percepção do que esta sendo discutido pode-se observar as figuras 2, 3, 4, 5 e 6. Em todas elas é possível constatar que, de forma geral, a

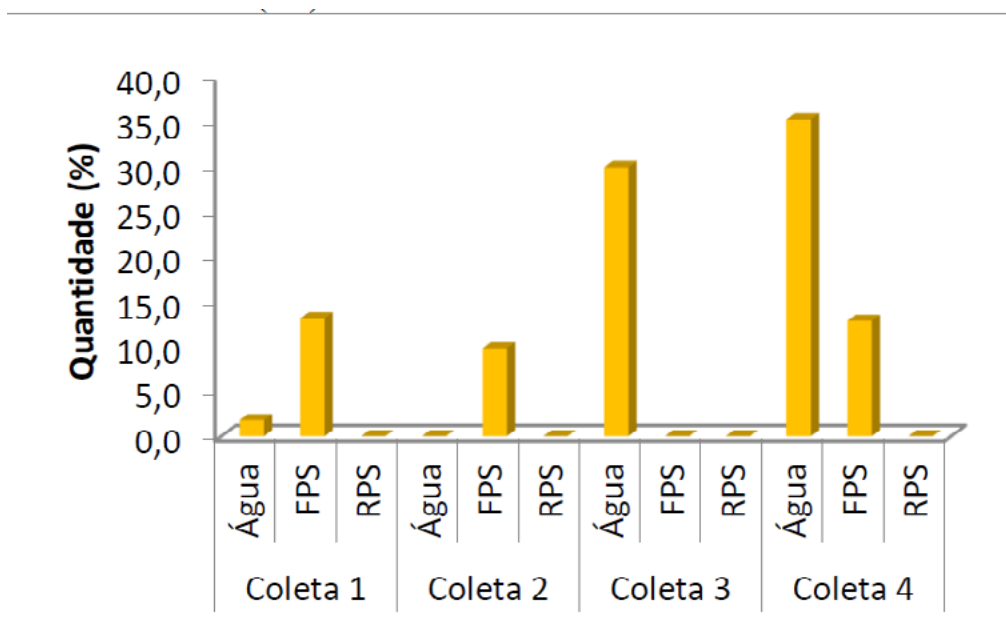
concentração dos elementos químicos no tecido vegetal (folhas e raízes) é superior ao quantificado na água.

Figura 2 — TEOR DE POTÁSSIO (K) NA ÁGUA E TECIDO VEGETAL DA *PISTIA STRATIOTES*



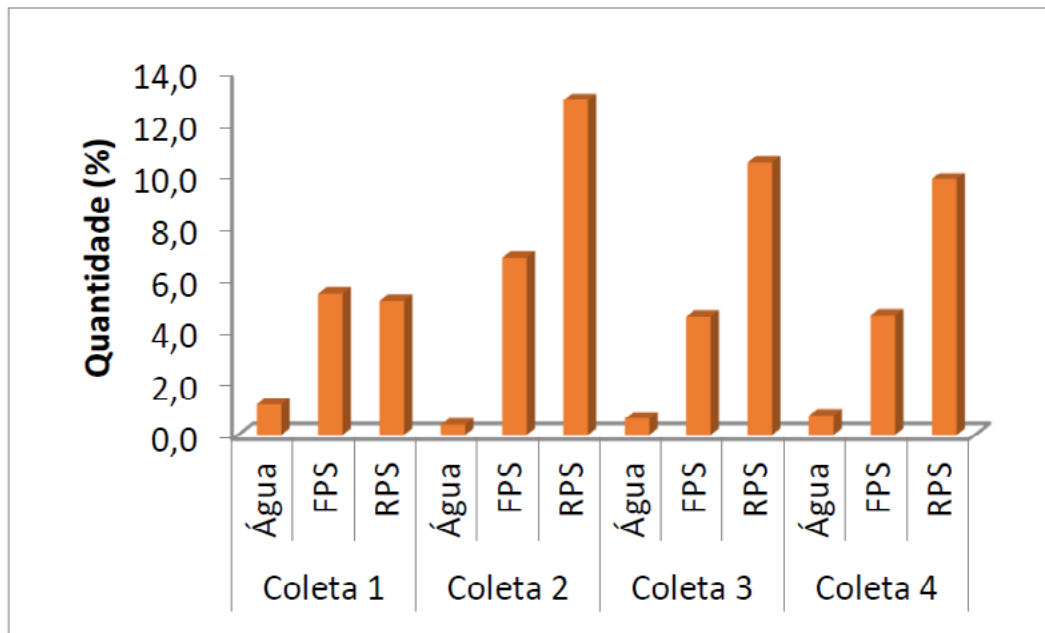
Fonte: O autor (2020)

Figura 4 — TEOR DE SÓDIO (Na) NA ÁGUA E TECIDO VEGETAL DA *PISTIA STRATIOTES*



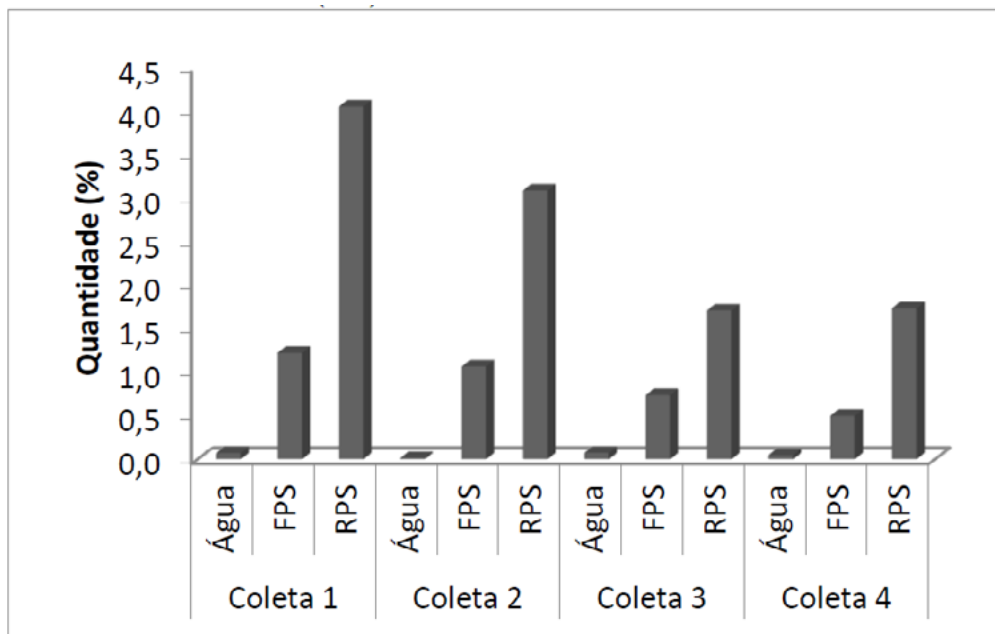
Fonte: O autor (2020)

Figura 5 — TEOR DE ALUMÍNIO (Al) NA ÁGUA E TECIDO VEGETAL DA *PISTIA STRATIOTES*



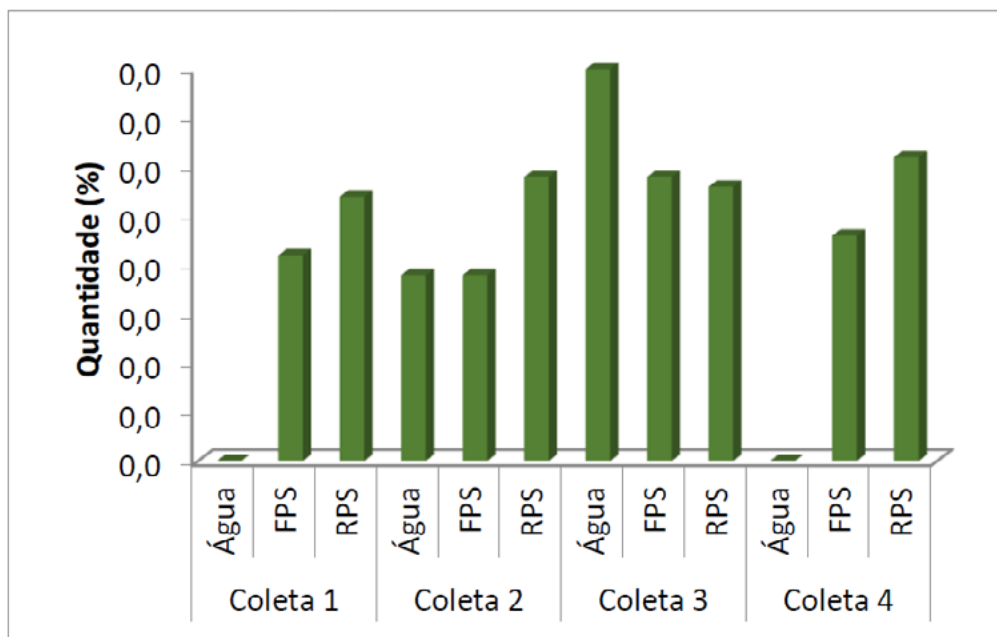
Fonte: O autor (2020)

Figura 6 — TEOR DE MANGANÊS (Mn) NA ÁGUA E TECIDO VEGETAL DA *PISTIA STRATIOTES*



Fonte: O autor (2020)

Figura 7 — TEOR DE COBRE (Cu) NA ÁGUA E TECIDO VEGETAL DA *PISTIA STRATIOTES*



Fonte: O autor (2020)

Esse comportamento se deve em função da capacidade de bioacumulação desses elementos químicos no tecido vegetal das macrófitas em estudo, mostrando que, pelo menos para esses elementos químicos quantificados, a espécie pode ser muito bem aproveitada como um bioindicador de poluição.

Apesar de alguns desses elementos químicos não serem considerados maléficis nas concentrações encontradas, é importante destacar que podem ser um indício de contaminação por atividades agrícolas, industriais e domésticas. A presença de manganês, por exemplo, pode indicar o uso de fertilizantes na região que acabam sendo carregados para o leito do rio em períodos chuvosos.

Dentre os diversos metais quantificados no tecido vegetal, o alumínio se destaca em função da elevada concentração quando comparado ao que foi determinado na água e por não se apresentar como um elemento essencial para o desenvolvimento da planta. Esse comportamento indica que a *Pistia stratiotes* apresenta-se como um potencial agente bioindicador de poluição por este metal.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho foi possível observar que a concentração das espécies metálicas na água e no tecido vegetal está diretamente relacionada às condições climáticas e aos fatores antropogênicos locais, o que não permite se constatar um comportamento padrão ao longo dos meses de coleta.

Em relação a viabilidade de uso das macrófitas como bioindicadores, a maioria dos resultados demonstraram maiores concentrações de nutrientes e metais pesados no tecido vegetal da planta, do que na amostra da água, comprovando a boa capacidade de absorção dos elementos presentes em seu habitat.

Visto sua característica de acumular no tecido vegetal diferentes elementos químicos, e algumas outras vantagens apresentados ao longo do texto, principalmente quando comparada com a realização de análises físico-químicas somente da água, o que favoreceria apenas uma avaliação momentânea do ambiente, pode-se classificar as macrófitas em estudo como um bom indicador da presença de poluentes no trecho estudado do rio Apodi-Mossoró.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. V. **Remediação *in vitro* de poluentes orgânicos persistentes com utilização de plantas e nanopartículas**. 2013. 176 f. Tese (Doutorado em Multidisciplinar) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 18 th ed. Washington: APHA. 2005.
- ARAÚJO, V. S.; SANTOS, J. P.; ARAÚJO, A. L. C. Monitoramento das águas do rio Mossoró/RN, no período de abril/2005 a julho/2006. **Holos**, v.1, 2007.
- BARSIENE, J. *et al.* Biomarker responses in flounder (*Platichthys flesus*) and mussel (*Mytilus edulis*) in the Klaipeda-Būtinge area (Baltic Sea). **Marine Pollution Bulletin**. v. 53, 2006.
- BERNHARDT, E. S. *et al.* River restoration efforts. **Science** 308. Synthesizing U.S, 2005.
- CASTRO, S. S. L. *et al.* Sustainable use of water in tropics and subtropics: the case of Apodi/Mossoró river basin in the Brazilian semi-arid. In: Carolina Bilibio; Oliver Hensel; Jeferson Francisco Selbach. (Org.). **Sustainable Water Management in the Tropics and Subtropics - and Case studies in Brasil**. 1ed. Jaguarão: Fundação universidade Federal do Pampa, 2012, v. 3, p. 567.
- DANTAS, T. C. M. *et al.* Determinação do índice de estado trófico dos açudes da Bacia hidrográfica Apodi/Mossoró – RN. In: **ENCONTRO NACIONAL DE QUÍMICA ANALÍTICA**, 15, 2009, Salvador - BA. Anais... Salvador: Sociedade Brasileira de Química, 2009.
- EMPARN. **Monitoramento Pluviométrico**: ano 2018. Disponível em: <http://meteorologia.emparn.rn.gov.br:8181/monitoramento/2018/graficos/d8007.html>. Acesso em: 17 set. 2020.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, DF, 1999.
- GONÇALVES JUNIOR *et al.* Remoção de metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo em biofertilizante suíno utilizando a macrófita aquática (*Eichhornia crassipes*) como bioindicador. **Acta Scientiarum**. Technology, v. 3, 2008.

LADSON, A. R. *et al.* Development and testing of an Index of Stream Condition for waterway management in Australia. **Freshwater Biology**, v. 41, n. 2, 1999.

LOW, K. S., LEE, C. K. Removal of arsenic from solution by water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Ibid*, 13(1): p. 130-131, 1990.

MARQUES, M. K. *et al.* Pescado contaminado por *Escherichia coli* na área urbana do rio Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte. **Revista Centauro**, v.2, n.2, p.50-56, 2011.

MARTINS, D. F. F.; SOUZA, L. D.; CASTRO, S. S. L. Qualidade físico-química das águas da bacia do Rio Apodi/Mossoró: II – Variabilidade temporal. **Química no Brasil**, v. 2, n. 2, p. 9 - 23, 2008.

MARTINS, D. F. F. *et al.* Temporal and physiological influence of the absorption of nutrients and toxic elements by *Eichhornia crassipes*. **Journal of Environmental Monitoring**, v. 13, n. 2, P.274-279, 2011.

MAVIOSO, J. F. **Tratamento de águas residuais através de Leitões de Macrófitas**: A influência da vegetação. Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa, 2010.

MILLER, Global Travel. **Ciência Ambiental**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

NASSIN, F. A. **Influência antrópica do entorno do Rio Jaguari-Mirim na qualidade de sua Água: trecho em que percorre o município de São João da Boa Vista, São Paulo**. Monografia de Graduação, Centro Universitário da Fundação de Ensino Octávio Bastos São João da Boa Vista, SP, 2005.

Oliveira, C. **Características morfoanatômicas e fisiológicas na avaliação do potencial bioindicador e fitorremediador de *Pistiastratiotes L.*, na presença de cádmio, chumbo e arsênio**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Fisiologia Vegetal). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010.

OLIVEIRA-JÚNIOR, E. T.; **Bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, Bacia: Macroinvertebrados como Bioindicadores e a percepção ambiental dos pescadores e marsiqueiras do seu entorno**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente)– UFPB, João Pessoa, 2009.

OLIVEIRA, M. A.; QUEIROZ, R. A. C. A Poluição do Rio Mossoró (RN) e a Ação Intervencionista do Ministério Público. In: **ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS**, 4, 2008, Brasília. Anais... Brasília – DF: ANPPAS, 2008.

THORNE, R.S.J., WILLIAMS, W.P., 1997. The response of benthic macroinvertebrates to pollution in developing countries: a multimetric system of bioassessment. **Freshwater Biol.** 37, 671–686.

