

Caracterização físico-química do solo e sua relação com a composição centesimal e atividade biológica de *Bauhinia cheilantha* (bong.)

Physical and chemical characterization of the soil and its relationship to the centimal composition and biological activity of *Bauhinia cheilantha* (bong.)

Caracterización física y química del suelo y su relación con la composición centimal y la actividad biológica de *Bauhinia cheilantha* (bong.)

DOI: 10.55905/oelv22n5-006

Receipt of originals: 04/02/2024

Acceptance for publication: 04/22/2024

Ana Trindade dos Santos

Mestranda em Agricultura e Ambiente

Instituição: Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Endereço: Arapiraca, Alagoas, Brasil

E-mail: annatrindade_18@hotmail.com

Amanda Lima Cunha

Doutoranda em Biotecnologia pela Rede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO)

Instituição: Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Endereço: Arapiraca, Alagoas, Brasil

E-mail: amandalima2012.quimica@gmail.com

Mayara Camila Santos Silva

Doutoranda em Biotecnologia pela Rede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO)

Instituição: Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Endereço: Arapiraca, Alagoas, Brasil

E-mail: mayaracamiilaa@gmail.com

Fernanda Stefanny Lima Sobrinho

Doutoranda em Biotecnologia pela Rede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO)

Instituição: Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Endereço: Arapiraca, Alagoas, Brasil

E-mail: stefanny.liima@hotmail.com

Kelly Barbosa da Silva

Doutora em Biotecnologia pela Rede Nordeste de Biotecnologia (RENORBIO)

Instituição: Universidade Federal de Alagoas (UFAL)

Endereço: Arapiraca, Alagoas, Brasil

E-mail: kelly.barbosa.silva@gmail.com

Mayara Andrade Souza

Doutora em Agronomia

Instituição: Centro Universitário Cesmac

Endereço: Maceió, Alagoas, Brasil

E-mail: mayarandrade@hotmail.com

Tâmara Claudia de Araújo Gomes

Doutora em Agronomia

Instituição: Embrapa Tabuleiros Costeiros (UEP)

Endereço: Rio Largo, Alagoas, Brasil

E-mail: tamara.gomes@embrapa.br

João Gomes da Costa

Doutor em Biotecnologia

Instituição: Embrapa Alimentos e Territórios

Endereço: Maceió, Alagoas, Brasil

E-mail: joao-gomes.costa@embrapa.br

RESUMO

O estudo objetivou analisar como as propriedades físico-químicas do solo influenciam a composição centesimal, os níveis de fenóis totais e flavonoides, e atividade antioxidante, na espécie *Bauhinia cheilantha*. Para isso, amostras de plantas e solos foram coletadas em três locais diferentes no município de Olho D'água do Casado, com amostras de solo retiradas em duas profundidades distintas (0-20 cm e 20-40 cm). Foram realizadas análises nutricionais da planta, incluindo a composição centesimal, os teores de compostos fenólicos e flavonoides, e a avaliação do potencial antioxidante através dos métodos DPPH e FRAP. Os dados foram analisados por meio de ANOVA, seguida pelo teste de agrupamento de Scott-Knott e análise de trilha. Os resultados indicaram uma influência significativa dos fatores físico-químicos do solo na concentração de compostos fenólicos e flavonoides, refletindo diretamente no potencial antioxidante elevado, com valores de 1023,44 a 1829,59 μM Equivalente de Trolox/g de amostra no teste DPPH e de 45442,74 a 56930,60 μM Equivalente de Trolox/g de amostra no teste FRAP. A análise bromatológica revelou que *B. cheilantha* possui potencial como forrageira. Adicionalmente, identificou-se que características específicas do solo, como os teores de cálcio e magnésio, influenciam positivamente os níveis de compostos fenólicos e flavonoides; a relação C/N e a presença de areia total afetam indiretamente o desempenho no teste DPPH; e o pH, potássio, enxofre e a saturação de bases exercem influências diretas e indiretas nos resultados do teste FRAP e no teor de proteína bruta das folhas, respectivamente.

Palavras-chave: Atividade Antioxidante, Teor de Fenóis, Análise Nutricional, Mororó

ABSTRACT

The study aimed to analyze how the soil's physicochemical properties influence the centesimal composition, levels of total phenols and flavonoids, and antioxidant activity in the species *Bauhinia cheilantha*. To this end, plant and soil samples were collected from three different locations in the municipality of Olho D'água do Casado, with soil samples taken at two different depths (0-20 cm and 20-40 cm). Nutritional analyses of the plant were carried out, including the centesimal composition, the levels of phenolic compounds and flavonoids, and the evaluation of the antioxidant potential using the DPPH and FRAP methods. The data was analyzed using ANOVA, followed by the Scott-Knott grouping test and path analysis. The results indicated a significant influence of the soil's physicochemical factors on the concentration of phenolic compounds and flavonoids, directly reflecting the high antioxidant potential, with values of 1023.44 to 1829.59 μM Trolox Equivalent/g sample in the DPPH test and 45442.74 to 56930.60 μM Trolox Equivalent/g sample in the FRAP test. The bromatological analysis revealed that *B. cheilantha* has potential as a forage crop. In addition, it was identified that specific soil characteristics, such as calcium and magnesium content, positively influence the levels of phenolic compounds and flavonoids; the C/N ratio and the presence of total sand indirectly affect performance in the DPPH test; and pH, potassium, sulphur and base saturation exert direct and indirect influences on the results of the FRAP test and the crude protein content of the leaves, respectively.

Keywords: Antioxidant Activity, Phenol Content, Nutritional Analysis, Strawberry Tree.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo analizar cómo las propiedades físico-químicas del suelo influyen en la composición centesimal, los niveles de fenoles totales y flavonoides, y la actividad antioxidante en la especie *Bauhinia cheilantha*. Para ello, se recogieron muestras de planta y suelo en tres localidades diferentes del municipio de Olho D'água do Casado, con muestras de suelo tomadas a dos profundidades diferentes (0-20 cm y 20-40 cm). Se realizaron análisis nutricionales de la planta, incluyendo la composición centesimal, los niveles de compuestos fenólicos y flavonoides, y la evaluación del potencial antioxidante mediante los métodos DPPH y FRAP. Los datos se analizaron mediante ANOVA, seguido de la prueba de agrupación de Scott-Knott y el análisis de caminos. Los resultados indicaron una influencia significativa de los factores físico-químicos del suelo sobre la concentración de compuestos fenólicos y flavonoides, reflejada directamente en el elevado potencial antioxidante, con valores que oscilaron entre 1023,44 y 1829,59 μM Trolox Equivalente/muestra en el ensayo DPPH y entre 45442,74 y 56930,60 μM Trolox Equivalente/muestra en el ensayo FRAP. El análisis bromatológico reveló que *B. cheilantha* tiene potencial como cultivo forrajero. Además, se identificó que las características específicas del suelo, como el contenido de calcio y magnesio, influyen positivamente en los niveles de compuestos fenólicos y flavonoides; la relación C/N y la presencia de arena total afectan indirectamente al rendimiento en la prueba DPPH; y el pH, el potasio, el azufre y la saturación de bases ejercen influencias

directas e indirectas en los resultados de la prueba FRAP y en el contenido de proteína bruta de las hojas, respectivamente.

Palabras clave: Actividad Antioxidante, Contenido en Fenoles, Análisis Nutricional, Madroño.

1 INTRODUÇÃO

O bioma da Caatinga, uma formação vegetal singularmente restrita ao Brasil, é distinguido por suas singulares características. Este ecossistema abriga uma biodiversidade notável, com uma considerável proporção de espécies endêmicas (Dantas *et al.*, 2014). Dentro deste contexto, algumas espécies emergem como elementos de destaque, não apenas devido à sua relevância para a forragicultura, mas também em virtude de suas valiosas propriedades medicinais². Esta dualidade de aplicações sublinha a importância ecológica e econômica dessas espécies dentro do bioma da Caatinga, sugerindo potenciais avenidas de pesquisa e aplicação que podem beneficiar tanto a conservação do ecossistema quanto o desenvolvimento sustentável da região.

A vegetação dessa região é caracterizada pela presença de árvores caducifólias e arbustos com modificações, principalmente em forma de espinho. Possui predominância de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, apresentando uma paisagem típica da caatinga em seus diversos sítios ecológicos (Costa & Cavalcanti, 2016). Dentre as famílias presentes destacam-se Caparaceae, Euphorbiaceae, Cactaceae e Fabaceae (Buarque & Santos, 2023) (Moro *et al.*, 2015).

Espécies do gênero *Bauhinia*, pertencentes a família Fabaceae são amplamente utilizadas, desde para atividades de pecuária, como principalmente para tratamentos de várias doenças como é o exemplo da diabetes, por possuir atividade hipoglicemiante através da presença de compostos fenólicos e flavonóides (Lira *et al.*, 2022).

Nesse contexto destaca-se *Bauhinia cheilantha*, endêmica do bioma Caatinga, que possui atividade hipoglicemiante, anti-hipertensiva, hipocolesterolemiantes, antimicrobiana, antibacteriana e antioxidante que, geralmente, são atribuídas aos compostos fenólicos presentes nas folhas, especialmente os flavonóides. Além de possuir

propriedades medicinais essas plantas ainda são largamente utilizadas na dieta de ruminantes, por possuir alto valor protéico (Miranda, 2019).

O potencial farmacológico de espécies como a *B. cheilantha* é preponderante de seus metabólitos secundários. Estes compostos representam uma interface química entre a planta e ambiente, logo, os fatores bióticos e abióticos em que a planta está exposta podem influenciar diretamente na produção destes compostos. Dentre esses fatores estão temperatura e luminosidade, sazonalidade, estágio de desenvolvimento, horário de coleta e principalmente água e nutrientes; além de ataque de patógenos (Cunha *et al.*, 2020).

Mediante a isto, o estudo teve como objetivo analisar a relação entre as características físico-químicas do solo com a composição centesimal, teor de fenóis total e flavonóides, e o potencial antioxidante do extrato de *B. cheilantha*.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 SELEÇÃO DA ESPÉCIE

O material botânico da espécie *B. cheilantha* foi coletado em três diferentes localidades do município de Olho D'água do Casado, em setembro de 2014, em área de vegetação natural arbóreo-arbustiva, levando-se em consideração seu potencial forrageiro e medicinal, visto que são amplamente utilizados na região, para tais finalidades. E ainda por sua adaptação ao tipo de solo presente (haplossolo háplico) e por sua alta representatividade na área de estudo, pelo seu potencial agroecológico.

2.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICAS DO SOLO LOCAL

De forma a se caracterizar a interação da espécie selecionada com o ambiente pedológico local, foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 a 20 cm, 20 a 40cm. A cada coleta de material de planta para os estudos nutricionais, coletou-se uma amostra do solo (três subamostras/amostra composta/profundidade) por árvore/arbusto.

Uma alíquota de cada amostra de solo foi acondicionada em caixa térmica com gelo, para posterior determinação dos teores de nitrogênio total, nitrato e amônio.

Por conseguinte, o restante da amostra foi seca a 60°C, triturada e passada por peneira de 2,0 mm de malha. No laboratório de solos foram determinados os seguintes atributos químicos: condutividade elétrica (CE) no extrato de saturação, pH em água e em KCl 1 mol/L, na relação 1:2,5, matéria orgânica (MO), bases trocáveis (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+} , Na^{+}), fósforo (P) disponível, alumínio (Al^{+3}), acidez potencial ($\text{H}^{+} + \text{Al}^{+3}$). Com base nos resultados analíticos foram calculados a soma de bases ($\text{S} = \text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$), a capacidade de troca de cátions ($\text{CTC} = \text{S} + \text{H} + \text{Al}^{+3}$), a saturação por bases ($\text{V} \% = 100\text{S}/\text{CTC}$), e a saturação por sódio ($100\text{Na}^{+}/\text{T}$) conforme Embrapa (1997). Os teores de C e N totais foram determinados em analisador elementar (CNHS); o teor do carbono solúvel em água (CSA) e os teores de nitrato e amônio foram determinados conforme descrito na literatura (Mendonça & Matos, 2005).

Também foram determinados os seguintes atributos físicos: densidade das partículas, densidade do solo, composição granulométrica e argila dispersa em água. As determinações foram realizadas segundo métodos recomendados pela Embrapa¹⁰. As determinações analíticas foram realizadas nos laboratórios da Embrapa Tabuleiros Costeiros. Cada ponto amostral foi georreferenciado e foi correlacionado à ocorrência dos solos mapeados no ZAAL 2012.

2.3 AVALIAÇÃO DO ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS

Foram coletadas folhas de plantas de *B. cheilantha*, perfazendo um total de vinte e oito amostras para posterior análise em laboratório. Inicialmente o material vegetal foi seco a uma temperatura de 50°C, triturado em moinho tipo Willey e acondicionadas em recipientes fechados. O C e o N foram determinados em analisador elementar (CNHS Thermo Scientifics, modelo Flash, 2000). Para a determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, B, Fe, Zn, Mn e Cu, as amostras foram processadas em digestor por microondas em ácido nítrico e feita a determinação em ICP-OES.

2.4 ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL

Para análise da bromatologia do tecido vegetal, foram determinados: teor de umidade, proteína bruta, lipídios totais, cinzas, fibra alimentar (FDN e FDA), e carboidratos. A umidade foi mensurada a partir do aquecimento em estufa, a uma temperatura de 150°C, até atingir peso constante, visando determinar a perda de umidade através do aquecimento.

A proteína bruta foi determinada pelo método de Kjeldahl, que após digestão da amostra com a mistura digestora (sulfato de cobre e sulfato de potássio) e ácido sulfúrico, destilação e posterior titulação com solução de ácido clorídrico para quantificação de proteínas totais (AOAC, 1995).

Além disso, os lipídeos totais foram determinados pelo método de Soxhlet, baseado na perda de peso do material submetido à extração com éter etílico, ou na quantidade de material solubilizado pelo solvente.

As cinzas (resíduo mineral fixo) foram determinadas a partir da submissão das amostras a 550°C em mufla¹⁰. A FDN e FDA foram determinadas utilizando-se do kit *dietary fiber total*, marca Sigma, que se baseiam nas análises enzimáticas gravimétricas. Esse método baseia-se na porção não hidrolisada do alimento que resiste à digestão enzimática sequencial com α -amilase, protease e amiloglicosidase, e é insolúvel em etanol entre 78% e 98% (Teixeira *et al.*, 2017).

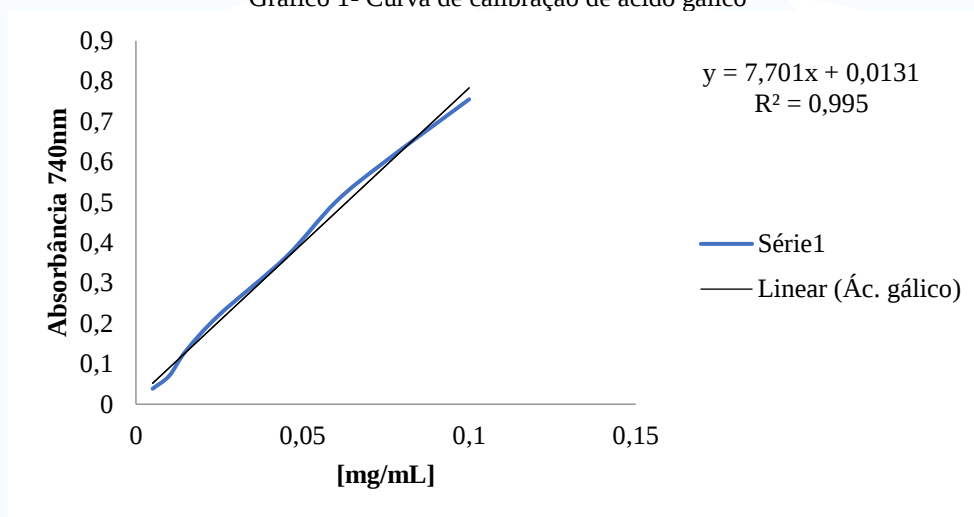
Quanto aos carboidratos, afração glicídica foi determinada pela diferença dos valores encontrados para umidade, extrato etéreo, proteínas, cinzas e fibras em 100 g do produto (Teixeira *et al.*, 2017).

2.5 QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE COMPOSTOS FENÓLICOS E FLAVONOIDES

Para a avaliação da capacidade antioxidante de *B. cheilantha*, foram obtidos extratos etanólicos brutos a partir da extração assistida por microondas. O material obtido foi filtrado e submetido a um evaporador rotativo (Fisatom 803) a 40°C para obtenção do

extrato bruto. Os teores de compostos fenólicos nas amostras foram determinados através do teste de Folin-Ciocalteu. A leitura da absorbância em espectrofotômetro UV – VIS (Shimadzu, UV – 1280) a 740 nm foi realizada e convertida para o conteúdo de compostos fenólicos de acordo com uma curva de calibração feita com ácido gálico com concentrações de 0,1-0,005 mg/mL (Gráfico 1). Os resultados foram expressos em mg EAG/g extrato seco (Cunha *et al.*, 2020).

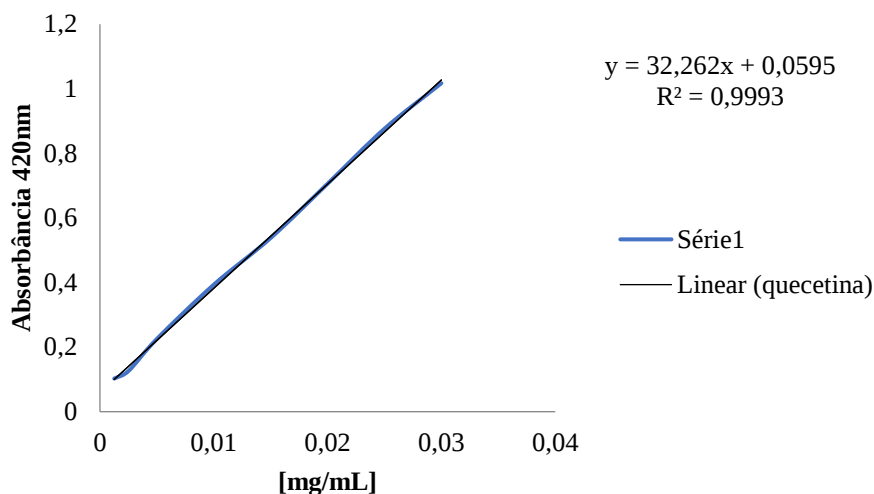
Gráfico 1- Curva de calibração de ácido gálico



Fonte: Dados da pesquisa

A quantificação dos flavonóides foi realizada a partir da leitura da absorbância a 420 nm e convertida de acordo com uma curva de calibração feita com quercetina a partir de uma solução estoque a 1 mg/mL com concentrações de 0,03-0,00125 mg/mL (Gráfico 2). Os resultados foram expressos em mg EQ/g extrato seco (Cunha *et al.*, 2020).

Gráfico 2- Curva de calibração de quercetina

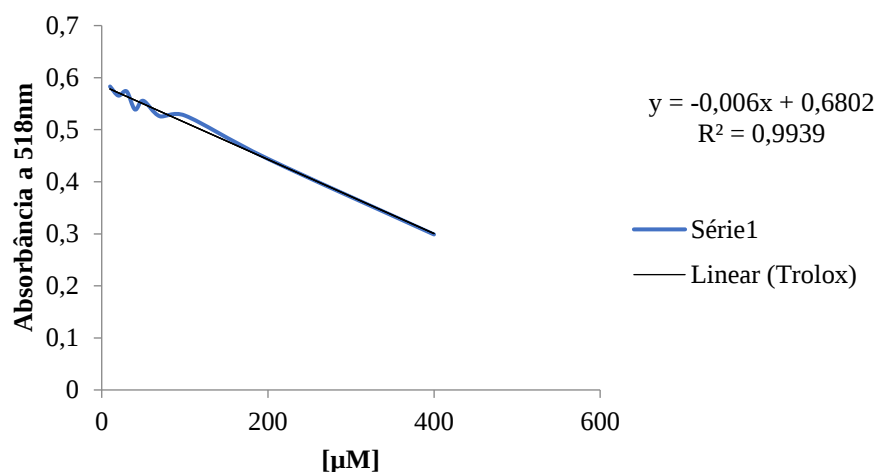


Fonte: Dados da pesquisa

2.6 AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE PELO MÉTODO DPPH

A partir da solução estoque da amostra em metanol, foram transferidos para uma placa de 96 poços em triplicata, 100 μ L de cada solução da amostra seguido de 100 μ L da metanólica de DPPH a 0,208 mM. A placa foi mantida ao abrigo da luz por 15 minutos com leitura da absorbância a 518 nm, num espectrofotômetro leitor de placas. Foi construída uma curva de calibração do padrão Trolox® (+/-)-6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-ácido carboxílico) (Gráfico 3), a partir de soluções teste nas concentrações de 10 a 90 μ M. Os resultados foram expressos em μ M Equivalente de Trolox/g do extrato (Oliveira, 2019).

Gráfico 3- Curva de calibração de trolox

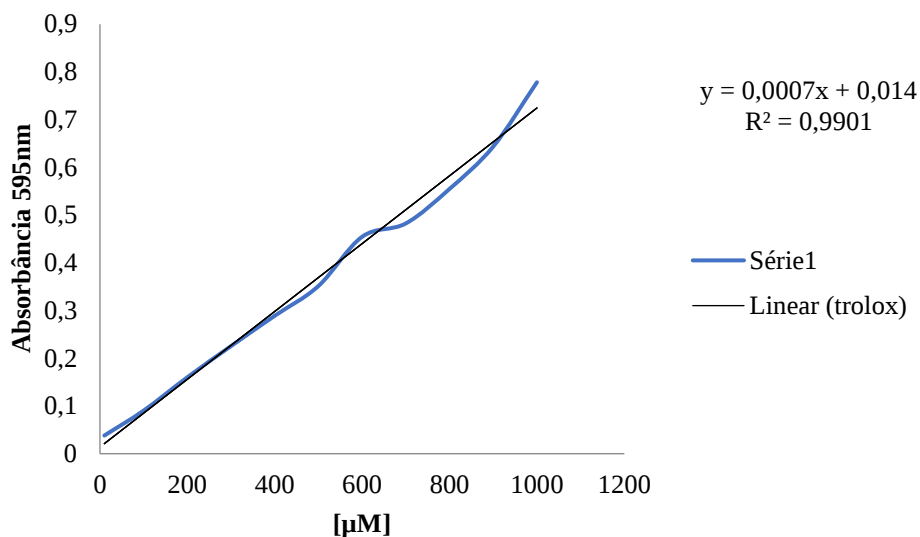


Fonte: Dados da pesquisa

2.7 DETERMINAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIOXIDANTE TOTAL PELO MÉTODO DE REDUÇÃO DO FERRO – FRAP

A partir de uma solução do reagente FRAP obtida através de 25 mL de tampão acetato a 0,3 M, 2,5 mL da solução de TPTZ (2,4,6-Tris(2-piridil)-s-triazina) a 10 mM e 2,5 mL de uma solução aquosa de cloreto férrico a 20 mM. Foi adicionado em ependorf (triplicata) 30 µL de solução da amostra em metanol, 90 µL de água destilada e 900 do reagente FRAP, a solução foi homogeneizada no vortex. Em uma placa de 96 compartimentos foram pipetadas em triplicata 250 µL da solução da amostra e mantida encubada a 37°C, com realização da leitura após 30 minutos. Como branco foi utilizado o reagente FRAP e a leitura da placa foi realizada a 595 nm, num espectrofotômetro leitor de placa. A curva padrão de trolox foi construída a partir de soluções teste com concentrações de 10 µM a 1000 µM (Gráfico 4). Os resultados foram expressos em µM Equivalente de Trolox/g do extrato (Oliveira, 2019).

Gráfico 4 – Curva de calibração de trolox



Fonte: Dados da pesquisa

2.8 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias, comparadas por meio do teste de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa GENES. Estimativas de correlações de Pearson foram realizadas entre as variáveis e as mesmas foram desdobradas em efeitos diretos e indiretos, tendo como variáveis principais teor de fenóis, flavonóides, DPPH, FRAP e proteína bruta.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação das propriedades edáficas nas zonas examinadas revela um perfil de pH levemente ácido a neutro, oscilando entre 6,2 e 7,3, indicativo de um ambiente com potencial reduzido de restrições químicas às culturas agrícolas. A concentração de fósforo (P) foi identificada em intervalos de 35 a 406 mg kg⁻¹, categorizando-a como elevada e sugerindo uma capacidade significativa de suporte à nutrição das plantas. Os níveis de potássio (K) foram classificados como médios a altos, variando de 0,23 a 0,85 cmolc dm⁻³.

³, enquanto os cátions cálcio (Ca) e magnésio (Mg) foram abundantemente disponíveis, com concentrações entre 6,2 e 12,7 cmolc dm⁻³.

A presença de alumínio (Al) foi baixa, acompanhada por uma acidez potencial reduzida, corroborando a neutralidade do pH observada. A capacidade de troca catiônica (CTC) demonstrou uma amplitude de 7,3 a 15,6 cmolc dm⁻³, refletindo uma variação na capacidade do solo de reter e disponibilizar nutrientes essenciais. A saturação por sódio (Na) permaneceu abaixo de 4,0%, enfatizando o perfil háplico do solo e a baixa probabilidade de salinização.

No entanto, foi notada uma deficiência em matéria orgânica, um componente crucial para a manutenção da estrutura e da fertilidade do solo. Quanto à textura, observou-se uma variação de areia franca a franco-arenosa (Tabela 1). A Área I distinguiu-se por uma textura menos arenosa e mais siltosa, além de exibir concentrações superiores de Ca e K, condutividade elétrica (CE) e CTC em comparação às Áreas 2 e 3, que exibiram maior similitude entre si. Essas diferenças texturais e químicas entre as áreas amostradas apontam para a necessidade de manejo diferenciado visando a otimização da resposta das culturas agrícolas às condições edáficas específicas.

Tabela 1 - Características físico-químicas dos planossolos háplicos das áreas de coleta

Local de coleta	Prof., cm	Composição granulométrica da terra fina, g/kg								pH em água (1:2,5)	CE, $\mu\text{S.cm}^{-1}$
		Areia muito grossa	Areia grossa	Areia média	Areia fina	Areia muito fina	Areia Total	Silte	Argila		
Área I	0-20	71	105	138	147	68	529	322	148	7.31	112.87
	20-40	60	110	139	163	78	551	299	150	7.06	124.14
Área 2	0-20	116	217	184	172	74	765	122	113	6.22	64.00
	20-40	111	184	186	168	79	727	159	113	6.38	74.74
Área 3	0-20	96	170	180	210	100	755	163	82	7.06	84.56
	20-40	110	202	188	169	84	753	159	88	6.53	62.63

Local de coleta	Prof., cm	Complexo Sortivo, cmol/kg					Sat. por Al, %	PST, %	V (sat. por bases), %	P, mg.dm ⁻³
		Ca ²⁺ + Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC				
Área I	0-20	12.70	0.85	0.15	1.92	15.62	0.04	0.88	88.86	315.07
	20-40	9.47	0.52	0.30	2.13	12.41	0.01	2.34	84.28	203.41
Área 2	0-20	7.53	0.28	0.08	2.92	10.82	4.82	0.76	70.13	384.59
	20-40	7.40	0.23	0.19	1.39	9.21	1.36	1.91	83.61	406.68
Área 3	0-20	6.96	0.38	0.08	2.05	9.47	3.47	0.94	76.70	232.67
	20-40	6.25	0.23	0.28	0.56	7.32	1.97	3.73	90.92	18.65

Fonte: Dados da pesquisa

Quanto a análise da composição química do tecido foliar (Tabela 2), revelou padrões notáveis nas concentrações nutricionais entre as áreas estudadas. Observou-se uma uniformidade nos níveis de carbono (C), o que sugere uma estabilidade na fotossíntese e na alocação de recursos energéticos entre as três localidades analisadas. De maneira similar, as concentrações de fósforo (P), potássio (K) e magnésio (Mg) mantiveram-se consistentes, indicando uma provável homogeneidade na disponibilidade desses nutrientes essenciais para o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas nas áreas examinadas.

Contudo, um desvio notável foi identificado no teor de nitrogênio (N) na Área 2, onde se constatou uma concentração superior em comparação às demais áreas. Que considerado um composto vital para a síntese de aminoácidos e proteínas, sua abundância na Área 2 pode estar associada a uma maior capacidade de suporte ao crescimento vegetal e ao vigor das plantas nesse local.

Além disso, a análise revelou que os teores de zinco (Zn) e cobre (Cu) também foram superiores na Área 2. Estes micronutrientes são fundamentais para várias funções fisiológicas nas plantas, incluindo a atuação como cofatores em sistemas enzimáticos e a participação na síntese de clorofila.

Tabela 2 - Teores de nutrientes na parte aérea de forrageiras nativas coletadas em áreas de Planossolos Háplicos do semiárido alagoano – (Olho d'Água do Casado, AL).

Áreas	Haplicos do semearado alagado (Ono d'Água do Casado, AL).									
	C	N	P	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Cu	Zn
	g kg ⁻¹					mg kg ⁻¹				
	Área 1									
A I	452,86	15,30	1,46	12,36	5,87	3,09	56,83	89,58	2,58	12,46
	Área 2									
A II	444,56	24,65	1,74	11,95	2,87	2,59	51,08	75,42	5,33	17,04
	Área 3									
A III	439,93	19,46	1,75	10,70	3,49	3,22	56,58	95,42	3,67	12,54

Fonte: Dados da pesquisa

Nas análises conduzidas para avaliar o perfil bromatológico de *B. cheilantha*, os resultados obtidos reforçam sua viabilidade como forrageira. Os teores de proteína bruta observados nas amostras de *B. cheilantha* variaram significativamente entre as áreas de coleta, registrando-se 12,73% na Área 1, 16,3% na Área 2 e 15,36% na Área 3. Tais valores superam amplamente o limite mínimo de 7% (Hoffmann, 2015), para a adequada

funcionalidade dos microrganismos ruminais na digestão de substratos energéticos fibrosos, destacando a competência nutritiva desta forrageira.

Quanto aos indicadores de fibra, os teores de Fibra em Detergente Neutro (FDN) revelaram-se como 47,77% na Área 1, 48,15% na Área 2 e 45,45% na Área 3. Paralelamente, os valores de Fibra em Detergente Ácido (FDA) foram registrados em 27,08% na Área 1, 25,84% na Área 2 e 25,68% na Área 3. Ao comparar esses resultados com os parâmetros de capim-marandu, uma forrageira amplamente utilizada cuja composição bromatológica apontou FDN e FDA em 55,26% e 31,16% (GERON *et al.*, 2014), respectivamente, observa-se que *B. cheilantha* apresenta perfis similares.

Adicionalmente, as análises dos teores de cinzas e extrato etéreo nas amostras de todas as três áreas corroboram a adequação desses componentes para uma forrageira eficaz, reiterando assim o potencial forrageiro de *B. cheilantha*. Esta evidência sugere que a espécie, além de superar as exigências mínimas para a nutrição ruminante em termos de proteína bruta, também apresenta uma composição de fibra e outros componentes nutricionais que a posicionam como uma opção promissora para inclusão em sistemas de pastagem e alimentação animal.

Com o objetivo de verificar o potencial forrageiro da espécie em estudo, considerando as condições edafoclimáticas do local selecionado para a pesquisa, foi feita a análise da composição centesimal das folhas. Os resultados obtidos mostraram um significativo potencial forrageiro da espécie, que é corroborado pelos elevados níveis de matéria seca: $41,50\% \pm 1,30$ e de proteína bruta: $14,79\% \pm 1,98$ identificados. Tais resultados destacam a relevância da espécie como uma possível fonte forrageira, contribuindo assim para a expansão das alternativas disponíveis no manejo alimentar em sistemas agropecuários.

Os efeitos diretos (coeficientes de trilha) são apresentados na diagonal, em negrito e, os indiretos, na horizontal. Os altos coeficientes de determinação (R^2) obtidos indicam que os conjuntos de variáveis selecionadas explicam a maior parte do comportamento produtivo do *B. cheilantha* quanto o teor de proteína bruta. Em conjunto, as variáveis independentes selecionadas explicam 92,00% do teor de proteína bruta presentes no mororó. Verifica-se que a saturação de bases (V) se mostrou como a principal variável

que influencia na porcentagem de proteína bruta. O resultado mostra que quanto maior a saturação de bases menor o teor de proteína (Tabela 3).

Tabela 3- Desdobramento das correlações lineares em efeitos diretos e indiretos^{1/} de características físicas e químicas de Planossolos Háplicos do semiárido alagoanos (0-20 cm de profundidade) sobre o teor de proteína bruta em folha de *B. cheilantha*

Variáveis	AF	Mg	P	K	S	V	Total	R ² =0,92
AF	0,41	0,07	0,20	-0,21	-0,04	-0,80	-0,36	
Mg	0,15	0,21	0,08	-0,24	-0,12	-0,69	-0,61	
P	-0,15	-0,03	-0,58	0,05	0,03	0,61	-0,06	
K	0,23	0,13	0,08	-0,38	-0,11	-0,72	-0,78	
S	0,13	0,18	0,12	-0,30	-0,14	-0,74	-0,75	
V	0,30	0,13	0,32	-0,25	-0,09	-1,09	-0,69	

Fonte: Dados da pesquisa

Em relação ao teor de compostos fenólicos e flavonóides, os extratos de *B. cheilantha*, também se mostraram promissores. Com a equação da reta e a média das absorbâncias da amostra estudada, foram obtidos os resultados de fenóis das diferentes áreas de *B. cheilantha*, que variaram de 1226,46 a 2230,15 mg EAG/g da amostra (Tabela 4). Enquanto os resultados de flavonoides apresentados pelas amostras variaram em torno de 112,16 a 1125,69mg EQ/g da amostra, não apresentando diferença significativa.

Tabela 4- Concentrações de fenóis totais e flavonoides em folhas *B. cheilantha*, coletados em Planossolos Háplicos do semiárido Alagoano (Olho d'Água do Casado, AL)

ÁREAS	Fenóis (mg EAG/g da am.)	Flavonoides (mg EQ/g da am.)
A I	1226.46 a	125.69 a
A II	2089.18 a	112.16 a
A II	2230.15 a	121.64 a

As médias na coluna seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste de agrupamento de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa

Os efeitos diretos (coeficientes de trilha) são apresentados na diagonal, em negrito e, os indiretos, na horizontal. Os altos coeficientes de determinação (R²) obtidos indicam que os conjuntos de variáveis selecionadas explicam a maior parte do comportamento produtivo da espécie estudada quanto às concentrações foliares de fenóis e flavonoides. Em conjunto, as variáveis independentes selecionadas explicam pelo menos 97,54 % dos teores de fenóis totais e 96,57% dos teores de flavonoides em *B. cheilantha* (Tabela 4).

Os resultados obtidos a partir da análise de trilha indicam que os maiores teores de fenóis e flavonoides em *B. cheilantha* ocorreram naquelas plantas coletadas onde a textura nos Planossolos Háplicos era mais arenosa, os teores de Ca ou Mg foram mais pronunciados e os de P e a saturação por alumínio eram menores. No contexto dos solos em estudo, há que se considerar que os altos teores de cálcio, magnésio e fósforo observados podem resultar em desordens nutricionais, que associados à textura arenosa, poderão resultar na maior atividade desses elementos e, no consequente estresse para as plantas (Tabela 5).

Por outro lado, a textura arenosa também pode refletir o maior estresse hídrico aos quais as plantas estariam submetidas. Dados na literatura apontam o aumento da concentração de compostos fenólicos em espécies quando são submetidas a estresse abiótico. A alta produção desses compostos se deve por apresentarem capacidade antioxidante, atuando minimizando os danos causados pelas espécies radiculares, oriundas do estresse que a planta foi exposta (Cunha *et al.*, 2020).

Tabela 5 - Desdobramento das correlações lineares em efeitos diretos e indiretos^{1/} de características físicas e químicas de Planossolos Háplicos do semiárido alagoanos (0-20 cm de profundidade) sobre os teores de fenóis totais e flavonoides totais em folha de *B. cheilantha*

Fenóis totais					
Variáveis	Areia total	Ca	P	Sat. Por Al	Total ⁽²⁾
Areia total	1,644	-0,557	-0,072	-0,289	0,7259*
Ca	-1,485	0,616	0,056	0,256	-0,5563
P	0,497	-0,146	-0,237	-0,226	-0,1122
Sat. Por Al	0,789	-0,26	-0,089	-0,601	-0,1635
R ² = 0,9754 p<= 0,1567					
Flavonóides totais					
Variáveis	Areia fina	Mg	Sat. Por Al	Total ⁽²⁾	
Areia fina	0,7149	0,1083	0,0492	0,87724**	
Mg	0,2548	0,3040	0,0958	0,6546°	
Sat. Por Al	-0,1254	-0,1038	-0,2804	-0,097	
R ² = 0,9657 p<= 0,1852					

**= 1%, *= 5% e °= 10% de significância.

1/ Leitura dos coeficientes na diagonal, em negrito, e dos efeitos indiretos na horizontal. Os valores diretos são chamados de coef. De trilha. 2/ coeficiente de correlação de Pearson.

Fonte: Dados da pesquisa

Para avaliação antioxidante, pelo método de captura do radical DPPH, e pela interpolação da média das absorbâncias, foi obtido valores que variaram de 1023,44 a 1829,59 µM Equivalente de Trolox/g da amostra. Os valores elevados para atividade antioxidante podem ser explicados pelo alto teor de fenóis e flavonóides totais,

determinados nos extratos analisado. Tais resultados apontam a *B. cheilantha* como espécie promissora para atuar minimizando os danos de espécies radicalares e atuando na indústria farmacológica; tais resultados, também, reafirmam o potencial biológico já citado na literatura.

Os resultados, também, mostram a relação direta e indireta com outras variáveis analisadas. Os efeitos diretos (coeficientes de trilha) são apresentados na diagonal, em negrito e, os indiretos, na horizontal. Os altos coeficientes de determinação (R^2) obtidos indicam que os conjuntos de variáveis selecionadas explicam a maior parte do comportamento produtivo da espécie estudada quanto à atividade DPPH. Em conjunto, as variáveis independentes selecionadas explicam pelo menos 80,00% da atividade antioxidante de *B. cheilantha* (Tabela 6).

Tabela 6- Desdobramento das correlações lineares em efeitos diretos e indiretos^{1/} de características físicas e químicas de Planossolos Háplicos do semiárido alagoano (0-20 cm de profundidade) sobre a atividade antioxidante pelo método DPPH em folha de *B. cheilantha*

Variáveis	C/N	P	Ca	ATotal	K	S	Total	$R^2=0,80$
C/N	-1,22	-0,55	2,14	-0,90	-0,27	0,17	-0,63	
P	0,83	0,81	-1,87	0,77	0,16	-0,12	0,58	
Ca	-1,14	-0,66	2,30	-0,98	-0,25	0,18	-0,55	
ATotal	0,99	0,56	-2,04	1,11	0,25	-0,20	0,67	
K	-,1,12	-0,43	1,91	-0,92	-0,30	0,17	-0,69	
S	-0,98	-0,45	1,87	-1,02	-0,23	0,22	-0,59	

Fonte: Dados da pesquisa

Os resultados obtidos a partir da análise de trilha indicam que a relação C/N e a areia total do solo são as variáveis que influenciam diretamente sobre a maior atividade antioxidante. Constata-se que a relação C/N possui uma ação inversa com atividade antioxidante mostrando que quanto maior a relação C/N do solo menor será a atividade antioxidante.

Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que se a relação C/N for desequilibrada, haverá alteração na absorção de nutrientes pelas plantas e, conseqüente causando estresse nas mesmas. Já em relação a areia total, a relação foi direta, ou seja, quanto maior a quantidade de areia maior a atividade antioxidante.

Para a análise antirradicalar, através do poder de redução do ferro (FRAP), a média da dasabsorbâncias dos extratos foram interpolados a curva de calibração de tolox. Os

valores encontrados foram: 48641,15 (área 1); 56930,60 (área 2) e 45442,74(área 3) μM Equivalente de Trolox/g da amostra. Esses resultados são superiores ao encontrado nos extratos *Mimosa caesalpiniaefolia*, pertencente a mesma família da *B. cheilantha*, que foi de 496 μM Equivalente de Trolox/g da (SOUZA *et al.*, 2015).

Foi avaliado os efeitos diretos e indiretos das características físicas e químicas do solo sobre a atividade antioxidante obtida pelo método FRAP na amostra de tecido foliar (Tabela 7). Os efeitos diretos (coeficientes de trilha) são apresentados na diagonal, em negrito e, os indiretos, na horizontal. Os altos coeficientes de determinação (R^2) obtidos indicam que os conjuntos de variáveis selecionadas explicam a maior parte do comportamento produtivo da espécie estudada quanto à atividade DPPH. Em conjunto, as variáveis independentes selecionadas explicam pelo menos 84,00% da atividade antioxidante de *B. cheilantha*.

Os resultados obtidos evidenciam a importância do pH, K e S que apresentaram efeitos diretos e correlação simples semelhantes em magnitude e direção. Enquanto areia grossa (AG) apresentou correlação simples significativa ($r=0,69$) porém, verifica-se, pela análise de trilha que o efeito direto foi inverso ($r= -0,78$), evidenciando a importância do desdobramento das estimativas de correlações simples em efeitos diretos e indiretos.

Tabela 7- Desdobramento das correlações lineares em efeitos diretos e indiretos^{1/} de características físicas e químicas de Planossolos Háplicos do semiárido alagoanos (0-20 cm de profundidade) sobre a atividade antioxidante obtida pelo método FRAP em folha de *B. cheilantha*

Variáveis	N	MMPOR	AG	pH	K	S	Total	$R^2=0,84$
N	-0,39	0,05	-0,63	0,33	1,15	0,08	0,60	
MMPOR	0,24	-0,08	0,50	-0,19	-1,11	-0,07	-0,69	
AG	-0,31	0,05	-0,78	0,42	1,22	0,10	0,69	
pH	0,28	-0,03	0,70	-0,46	-1,06	-0,09	-0,67	
K	0,33	-0,06	0,70	-0,36	-1,36	-0,09	-0,86	
S	0,28	-0,05	0,68	-0,38	-1,06	-0,12	-0,65	

Fonte: Dados da pesquisa

4 CONCLUSÃO

Em nosso estudo, as folhas de *B. cheilantha*, coletadas de áreas com planossolos háplicos, demonstraram notável potencial forrageiro, conforme indicado pelos elevados índices de matéria seca e proteína bruta. Adicionalmente, esta espécie exibiu um

promissor potencial farmacêutico, atribuído à alta concentração de compostos fenólicos e flavonoides.

Este estudo também revelou que as propriedades físico-químicas do solo exercem influência significativa na composição centesimal das folhas e nas suas propriedades biológicas. Especificamente, observou-se que os níveis de cálcio e magnésio no solo contribuem positivamente para o aumento dos compostos fenólicos e flavonoides. A relação carbono/nitrogênio (C/N) mostrou uma correlação indireta, enquanto a presença total de areia afetou diretamente a capacidade de sequestro de radicais DPPH.

Além disso, o pH, potássio (K) e enxofre (S) influenciaram diretamente na capacidade antioxidante, medida pelo método FRAP, enquanto a areia grossa teve um impacto indireto. Por fim, a saturação de bases no solo mostrou-se um fator indireto na determinação do teor de proteína bruta nas folhas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTIS – AOAC 15 ed. Official Methods of Analysis. Virginia, 1995.

BUARQUE, P. F. S. M.; SANTOS, A. V. P. Composição e similaridade florística arbórea do semiárido do Baixo São Francisco em Alagoas e Sergipe. **Revista Sapiência**, vol. 12, nº1, p. 194 – 215, 2023.

COSTA, J. L. P. O.; CAVALCANTI, A. P. B. Pressupostos teóricos e metodológicos nos estudos da caatinga piauiense. **Revista Eletrônica de Geografia**, vol. 7, nº 19, p. 116 – 127, 2016.

CUNHA, A. L.; *et al.* Chemical characterization of the species *Raphanus sativus* L. under different conditions of fertilization and water stress conditions. **Revista Acta Brasiliensis**, [S.l.], vol. 4, nº. 1, p. 53-59, 2020. ISSN 2526-4338. <https://doi.org/10.22571/2526-4338245>.

DANTAS, F. C. P.; *et al.* Ziziphus joazeiro Mart. - Rhamnaceae: características biogeoquímicas e importância no bioma Caatinga. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, João Pessoa, n. 25, p. 51-57, 2014. ISSN 2447-9187. Disponível em: <<https://periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/view/172>>. Acesso em: 01 Abr. 2024. doi:<http://dx.doi.org/10.18265/1517-03062015v2n25p51-57>.

GERON, L. J.V.*et al.* Avaliação do teor de fibra em detergente neutro e ácido por meio de diferentes procedimentos aplicados as plantas forrageiras. **Semina: Ciências Agrárias**, vol.35, nº.3, p.1533-1542, 2014.

HOFFMANN, A. **Nível de atendimento das exigências de proteína bruta para bovinos em pastejo via suplementação**. 2015. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, 2015.

LIRA, C. F.; *et al.* Atividade biológica e perfil químico relatados para espécie *Bauhinia forficata*. *Revista Research, Society and Development*, vol. 11, nº 9, p. 1 – 8, 2022.

MENDONÇA, E.S.; MATOS, E.S. **Matéria orgânica do solo; métodos de análises**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2005.

MIRANDA, M. B. **Prospecção fitoquímica e atividades biológicas de plantas do Parque Nacional do Catimbu – Pernambuco, Brasil**. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e fisiologia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife – PE, 2019.

MORO, M.F.*et al.* Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Revista Rodriguésia**, vol.66, nº 3, p.717-743, 2015.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R.; DOMPIERIR, M. H. G.; CRUZ, M. A. S. GeoTAB: Identificação dos biomas e da vegetação na região de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros. **Revista Scientia Plena**, vol. 15, n. 11, p. 1-20, 2019.

OLIVEIRA, J. D. S.; *et al.* Capacidade antioxidante em frutos de diferentes genótipos de pinheira (*Annona squamosa* L. x *Annona Cherimola*). **Revista Diversitas Journal**, vol. 4, nº1, p. 272 – 284, 2019.

SOUZA, W. R. *et al.* Avaliação do potencial antioxidante pelo método de redução do ferro (frap) e quantificação de fenóis e flavonoides da *Mimosa Caesalpiniaefoli* Beth. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE QUÍMICA – RECURSOS RENOVÁVEIS: INOVAÇÃO E TECNOLOGIA, 55., 2015, Rio de Janeiro. **Anais [...]**. Rio de Janeiro: ABQ, 2015.

TEIXEIRA, P. C.; *et al.* **Manual de métodos de análise de solo**. 3ª edição. Brasília, DF: Embrapa, 2017.