

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E  
PASTAGENS**

**Maria Flávia de Souza Severo**

**Zootecnista**

**INTER-RELAÇÕES DO SISTEMA SOLO-PLANTA E  
COMPOSIÇÃO MINERAL DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS  
NATIVAS E EXÓTICAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**GARANHUNS-PE**

**2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E  
PASTAGENS**

**Maria Flávia de Souza Severo**

**Zootecnista**

**INTER-RELAÇÕES DO SISTEMA SOLO-PLANTA E COMPOSIÇÃO  
MINERAL DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS NATIVAS E EXÓTICAS DO  
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciência Animal e Pastagens, do Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Área de concentração: Produção Animal.

Orientador:

Prof. Dr. André Luiz Rodrigues Magalhães

Coorientadores:

Dr. Gheman Garcia Leal de Araújo

Dra. Rayanne Thalita de Almeida Souza

**GARANHUNS-PE**

**2023**

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL E PASTAGENS**

**INTER-RELAÇÕES DO SISTEMA SOLO-PLANTA E COMPOSIÇÃO  
MINERAL DE ESPÉCIES FORRAGEIRAS NATIVAS E EXÓTICAS DO  
SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Dissertação elaborada por  
**MARIA FLÁVIA DE SOUZA SEVERO**

Aprovado em 28 de fevereiro de 2023

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. André Luiz Rodrigues Magalhães**  
Zootecnista, *M.Sc.* em Zootecnia, *D.Sc.* em Zootecnia.  
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco  
(Orientador)

---

**Profa. Ana Lúcia Teodoro**  
Zootecnista, *M.Sc.* em Zootecnia, *D.Sc.* em Zootecnia.  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Paulistana  
(Examinadora)

---

**Daniel Barros Cardoso**  
Zootecnista, *M.Sc.* em Zootecnia, *D.Sc.* em Zootecnia.  
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – PNPD/PDIZ/UFPE  
(Examinador)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas (SIB-UFAPE)

S498I Severo, Maria Flávia de Souza  
Inter-relações do sistema solo-planta e composição mineral de espécies forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro / Maria Flávia de Souza Severo. – Garanhuns, PE, 2023.  
72 f. : il. color.

Orientador(a): André Luiz Rodrigues Magalhães.  
Coorientador(a): Gheman Garcia Leal de Araújo.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Ciência Animal e Pastagens, Garanhuns, PE, BR-PE, 2023.

Inclui referências.

1. Caatinga 2. Mineralogia do solo 3. Plantas e solo 4. Solos - Análise I. Magalhães, André Luiz Rodrigues (orient.) II. Araújo, Gheman Garcia Leal de (coorient.) III. Universidade Federal do Agreste de Pernambuco Ciência Animal e Pastagens IV. Título

CDD 631.4

*A Deus, por ser meu socorro e meu refúgio sempre presente, independentemente das circunstâncias, bem como por colocar situações que contribuem para meu autocrescimento tanto profissional quanto pessoal; e ao professor André Magalhães, pela atenção e pelo companheirismo nessa trajetória, mas sobretudo pela sua empatia e pela confiança tanto no meu potencial quanto no meu caráter.*

**DEDICO!**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ser a minha força e o meu socorro sempre presente, independente das circunstâncias, bem como por abrir portas impossíveis aos meus olhos e por me honrar onde quer que eu for. Outrossim, por me ensinar que a vida é uma contínua aprendizagem e correção dos equívocos praticados anteriormente, como também por me fazer compreender que cada obstáculo que enfrentei foi para meu autocrescimento, na fé e na vida.

À minha irmã Fernanda Severo Chaves, por ser um instrumento de Deus, na minha vida, mas também por ser meu apoio carnal, aqui, na terra, concedido por Papai do céu. Ademais, por ser minha instrutora na fé e norteadora dos planos de Deus na minha vida.

Aos meus pais Divaneusa Tenório de Souza Chaves e Fernando Severo Chaves pelo cuidado, pelo zelo e pelo amor a mim concedido. Apesar de algumas vezes discordarem das minhas escolhas, apoiam-me e auxiliam-me da forma como eles podem.

Ao meu cunhado Fabiano Abreu de Miranda pelo apoio e pelo incentivo para realização dos meus sonhos. Ademais, por me auxiliar, no curso da minha jornada, na concretização desses sonhos.

Ao meu orientador André Luiz Rodrigues Magalhães pela atenção, pela amizade, pela confiança no meu caráter e pelo companheirismo nessa trajetória, mas, principalmente, por ser um instrumento, nas mãos do oleiro, de incentivo para a realização dos meus sonhos.

Aos meus amigos Michael dos Santos Maciel e Maria Luana Soares Lopes por estarem ao meu lado, sempre que preciso, pela compreensão de situações que para mim são incompreensíveis, pela amizade e pela preocupação com o meu bem-estar.

Aos meus amigos Daniel Bezerra, Edson Miranda, Poliana e Cleyton pelo auxílio e pelo companheirismo nesse ciclo da minha vida.

Ao meu coorientador Gherman Garcia Leal de Araújo, pelo apoio, bem como pelos direcionamentos para elaboração deste trabalho.

À minha coorientadora Rayanne Thalita de Almeida Souza, pelo apoio, pelo companheirismo e pelos direcionamentos para elaboração deste trabalho.

Ao professor Jorge Lucena, pela atenção, pelas instruções e pelo acompanhamento seja direto seja indireto, que muito contribuíram nessa caminhada.

Aos professores Dorgival, Geane Dias, Grazy Souza e Fernando Moura, pelos ensinamentos seja direto seja indireto, os quais muito contribuíram para minha formação profissional.

À EMBRAPA Semiárido por contribuir para a realização das coletas e das análises das plantas forrageiras utilizadas para a produção deste trabalho, bem como pela confiança conferida a mim, ao meu orientador e aos meus coorientadores para condução dessa pesquisa nas dependências da instituição.

À FACEPE tanto pela confiança concedida para a realização desta pesquisa quanto pela concessão dos recursos financeiros, para fomentar o desenvolvimento deste trabalho, ainda, tão pouco estudado pelos pesquisadores da região.

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para elaboração deste trabalho.

Muito obrigada.

### *Epígrafe*

*“O SENHOR é o meu pastor, nada me faltará.*

*Deitar-me faz em verdes pastos, guia-me mansamente a águas tranquilas.*

*Refrigera a minha alma; guia-me pelas veredas da justiça, por amor do seu nome.*

*Ainda que eu andasse pelo vale da sombra da morte, não temeria mal algum, porque*

*tu estás comigo; a tua vara e o teu cajado me consolam.*

*Preparas uma mesa perante mim na presença dos meus inimigos, unges a minha*

*cabeça com óleo, o meu cálice transborda.*

*Certamente que a bondade e a misericórdia me seguirão todos os dias da minha vida;*

*e habitarei na casa do Senhor por longos dias.”*

Salmos 23: 1-6.

## **BIOGRAFIA**

**Maria Flávia de Souza Severo** nasceu em dois de outubro de 1996, no município de Correntes - PE, filha de Fernando Severo Chaves e de Divaneusa Tenório de Souza Chaves. Em 2007, mudou-se para o município de Terezinha - PE, onde cursou o ensino fundamental, na Escola Municipal Abílio Alves de Miranda, entre 2007 a 2010, e, posteriormente, de 2011 a 2013, cursou o ensino médio, na Escola Monsenhor Alfredo Damaso. Em 2014, ingressou no curso de zootecnia, pela Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Unidade Acadêmica de Garanhuns - UAG, concluindo-o em 2019, obtendo, assim, o título de bacharel em zootecnia. Em 2021, ingressou no programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens, pela UFRPE/UAG, na área de Produção Animal, com ênfase nas interações minerais do sistema solo-planta e na composição mineral das forrageiras exóticas e nativas do Semiárido brasileiro, para alimentação de ruminantes. Em fevereiro de 2023, apresentou a dissertação, a fim de obter o título de Mestre em Ciência Animal e Pastagens.

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>12</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>15</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>16</b>
2.1 Semiárido brasileiro .....	16
2.2 Relação mineral entre solo-planta.....	19
2.3 Relação mineral entre planta-animal.....	21
2.4 Composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro.....	22
<b>3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>26</b>
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	<b>32</b>
4.1 Geral.....	32
4.2 Específicos .....	32
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>33</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>36</b>
<b>2.0 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>37</b>
2.1 Área experimental .....	37
2.2 Coleta de solo.....	37
2.3 Análise química de solo .....	38
2.4 Coleta das amostras vegetais.....	39
2.5 Preparações das amostras vegetais.....	40
2.6 Preparações dos extratos vegetais .....	40
2.7 Análises minerais vegetais .....	40
2.8 Análise estatística.....	41
<b>3.0 RESULTADOS</b> .....	<b>42</b>
3.1 Características químicas do solo .....	42
3.2 Composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido Brasileiro .....	44
3.3 Relações entre as características químicas do solo e a composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro .....	46
<b>4.0 DISCUSSÃO</b> .....	<b>51</b>
4.1 Características químicas do solo .....	51
4.2 Composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro.....	53
4.3 Relações entre as características químicas do solo e a composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro .....	59
<b>5.0 CONCLUSÕES</b> .....	<b>64</b>
<b>6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>64</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Semiárido de Pernambuco, Brasil.....	17
<b>Figura 2.</b> Coleta dos ramos, com até 5mm de diâmetro, da gliricídia (A), da aroeira (B) e dos frutos da melancia forrageira (C). .....	40
<b>Figura 3.</b> Análise de componentes principais das características químicas do solo e do conteúdo mineral das onze forrageiras nativas e das oito exóticas do Semiárido brasileiro.....	49
<b>Figura 4.</b> Análise dos componentes principais das espécies forrageiras exóticas e nativas do Semiárido brasileiro. ....	51

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Concentrações de macro e microminerais de quatro espécies arbóreas nativas da Caatinga .....	23
<b>Tabela 2.</b> Variações das concentrações de macro e microminerais do sabiá com e sem acúleos nas estações chuvosa e seca.....	24
<b>Tabela 3.</b> Características químicas do solo em relação às áreas onde se encontravam as forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro .....	43
<b>Tabela 4.</b> Composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro .....	45
<b>Tabela 5.</b> Estimativa de autovalores associados aos teores minerais do solo e das plantas nativas e exóticas do Semiárido brasileiro .....	48

## **CAPÍTULO I**

---

**Contribuição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido  
brasileiro**

SEVERO, M.F.S. **Inter-relações do sistema solo-planta e composição mineral de espécies forrageiras nativas e exóticas no semiárido de Pernambuco.** Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens). Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens. UFRPE. Garanhuns-PE. Orientador: Prof. Dr. André Luiz Rodrigues Magalhães.

## RESUMO

A eficiência e a eficácia dos sistemas de produção de ruminantes a pasto, no Semiárido brasileiro, são diretamente influenciadas pela irregularidade pluviométrica no espaço e no tempo, sobretudo, em relação à nutrição mineral e à dinâmica do sistema solo-planta. Nesse sentido, as deficiências minerais representam um dos principais fatores limitantes à produção animal, por isso faz-se necessário o conhecimento dos recursos forrageiros disponíveis quer nativo quer exótico do Semiárido brasileiro, bem como compreender as interações minerais do sistema solo-planta-animal, a fim de atender às exigências minerais dos rebanhos e de reduzir os custos de produção. Nessa linha, realizou-se o experimento no Campo Experimental da Caatinga e na área de Caatinga nativa da Embrapa Semiárido de Petrolina-PE, onde se realizou a análise química de solo, bem como se coletaram as folhas e os ramos de 11 espécies forrageiras nativas e 8 exóticas, com diâmetro de, no máximo, 5 mm. Nos extratos vegetais, os teores de B, P e S foram determinados por colorimetria da azometina H, colorimetria de metavanadato e turbidimetria de sulfato de bário, respectivamente; e os teores de N, pelo método de Kjeldahl. Ademais, as concentrações de Na e K foram determinadas por fotometria de chama, e as de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica. Os dados das características químicas do solo e das concentrações de minerais das plantas foram submetidos à análise de variância, e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para analisar as interações solo-planta, utilizou-se análise multivariada de componentes principais (CP). Identificaram-se as maiores concentrações de N e S na leucena (38,88 e 2,79 g.kg<sup>-1</sup>), e de Ca no juazeiro (27,18 g.kg<sup>-1</sup>), o qual também se destacou na oferta de S (2,72 g.kg<sup>-1</sup>). A erva-sal destacou-se no fornecimento de K, Mg, B e, principalmente, Na (34,75 g.kg<sup>-1</sup>); e o velame, na oferta de P, K, B, Fe e Mn. As maiores concentrações de Cu foram observadas na melancia forrageira (21,65 mg.kg<sup>-1</sup>), e as de Zn, para a pornunça e para o capim-braquiária decumbens (69,09 e 62,69 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Referente ao CP1, observaram-se as maiores relações entre os teores de Fe, Zn, K e Mg do solo; saturação por bases; e as concentrações de Mn, Cu, Na, K, N e Mg das plantas, e, quanto ao CP2, constataram-se as maiores interações entre os teores de Ca, Al e P do solo; a condutividade elétrica do solo; e o pH do solo. Portanto, as espécies forrageiras nativas e exóticas analisadas apresentam concentrações minerais adequadas ao suprimento das exigências de N, K, Mg, Ca, S, Na, B, Cu, Zn e Mn de ruminantes, com exceção as de P. Além disso, a composição mineral dessas forrageiras é determinada, sobretudo, pelas concentrações de Mn das plantas e de Zn, Fe e Mn do solo.

**Palavras chaves:** nutrição mineral; Caatinga; condições edafoclimáticas; complementação mineral.

SEVERO, M.F.S. **Interrelations of the soil-plant system and mineral composition of native and exotic forage species in the semi-arid region of Pernambuco.** Dissertation (master's in animal science and Pastures). Graduate Program in Animal Science and Pastures. UFRPE. Garanhuns-PE. Advisor: Prof. Dr. André Luiz Rodrigues Magalhães.

## SUMMARY

The efficiency and effectiveness of pasture ruminant production systems in the Brazilian semi-arid region are directly influenced by rainfall irregularity in space and time, especially in relation to mineral nutrition and the dynamics of the soil-plant system. In this sense, mineral deficiencies represent one of the main limiting factors for animal production, so it is necessary to know the forage resources available, whether native or exotic in the Brazilian semiarid region, as well as understanding the mineral interactions of the soil-plant-animal system, in order to meet the mineral requirements of the herds and to reduce production costs. In this line, the experiment was carried out in the Caatinga Experimental Field and in the native Caatinga area of Embrapa Semi-arid Petrolina-PE, where the soil chemical analysis was carried out, as well as the leaves and branches of 11 native forage species were collected and 8 exotic, with a maximum diameter of 5 mm. In plant extracts, B, P and S contents were determined by azomethine H colorimetry, metavanadate colorimetry and barium sulfate turbidimetry, respectively; and N contents, by the Kjeldahl method. Furthermore, Na and K concentrations were determined by flame photometry, and Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn concentrations by atomic absorption spectrophotometry. Data on soil chemical characteristics and plant mineral concentrations were submitted to analysis of variance, and means were compared by Tukey's test, at 5% probability. To analyze soil-plant interactions, multivariate principal component analysis (PC) was used. The highest concentrations of N and S were identified in leucaena (38.88 and 2.79 g.kg<sup>-1</sup>), and of Ca in juazeiro (27.18 g.kg<sup>-1</sup>), which also stood out in the supply of S (2.72 g.kg<sup>-1</sup>). Saltbush stood out in supplying K, Mg, B and, mainly, Na (34.75 g.kg<sup>-1</sup>); and the canopy, in the supply of P, K, B, Fe and Mn. The highest concentrations of Cu were observed in forage watermelon (21.65 mg.kg<sup>-1</sup>), and the highest concentrations of Zn were observed in pornunça and signalgrass decumbens (69.09 and 62.69 mg.kg<sup>-1</sup>, respectively). About CP1, the highest relationships between Fe, Zn, K and Mg contents in the soil were observed; base saturation; and the concentrations of Mn, Cu, Na, K, N and Mg in the plants, and, regarding CP2, the greatest interactions were observed between the Ca, Al and P contents of the soil; the electrical conductivity of the soil; and the pH of the soil. Therefore, the analyzed native and exotic forage species have adequate mineral concentrations to supply the requirements of N, K, Mg, Ca, S, Na, B, Cu, Zn and Mn of ruminants, except for P. The mineral composition of these forages is mainly determined by the concentrations of Mn in the plants and Zn, Fe and Mn in the soil.

**Keywords:** mineral nutrition; Caatinga; edaphoclimatic conditions; mineral complementation.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Semiárido brasileiro caracteriza-se pela distribuição irregular das chuvas no espaço e no tempo (ANDRADA et al., 2020). Essa particularidade acarreta variações drásticas na produção de forragem, o que pode resultar na baixa produtividade dos rebanhos (LEITE, et al., 2014; COSTA et al., 2019). Nesse contexto, as deficiências nutricionais, sobretudo, as minerais configuram-se como uma das principais causas dessa baixa produtividade (TEXEIRA et al., 2011), uma vez que as plantas forrageiras apresentam concentrações de minerais muito variáveis, por dependerem, especialmente, dos teores de minerais disponíveis no solo (PEDREIRA e BERCHIELLI, 2006).

Os elementos minerais são indispensáveis à sobrevivência e à manutenção da saúde e da produtividade dos animais, haja vista que desempenham, no organismo, três importantes funções essenciais. A primeira como componentes estruturais dos tecidos corporais, a exemplo do cálcio e do magnésio que constitui o tecido ósseo. A segunda como eletrólitos, que participam da manutenção do equilíbrio ácido-básico, da pressão osmótica e da permeabilidade das membranas celulares, nos tecidos e nos fluidos corporais, por exemplo, o sódio (Na) e o potássio (K), por meio da bomba de Na e K. A terceira como cofatores enzimáticos ou integrantes da estrutura de metaloenzimas, vitaminas e hormônios, como: o ferro, que participa da estrutura da hemoglobina, proteína responsável pela oxigenação dos tecidos (TOKARNIA et al., 2000).

Sob esse viés, a nutrição mineral é importante tanto para metabolismo normal dos animais quanto para desenvolvimento das forrageiras, cuja composição mineral tem efeito direto no desempenho animal (SILVA e FARIAS, 1995). Todavia, a ingestão de dietas com baixa concentração de minerais pelos ruminantes é recorrente em várias partes do mundo (UNDERWOOD e SUTTLE, 2003).

Nesse sentido, as deficiências minerais podem ser classificadas de severas - identificadas com relativa facilidade, por ocasionarem distúrbios ou sintomas característicos - a brandas ou marginais, as quais são de difícil percepção e quantificação pelos produtores, por apresentarem sintomas inespecíficos, como a redução da eficiência produtiva e reprodutiva dos rebanhos. Contudo, esta é tão ou mais importante que aquela, visto que gera perdas econômicas consideráveis (TOKARNIA et al., 2000).

Embora, no Brasil, esteja bem estabelecida a importância da suplementação e das deficiências minerais em relação à sanidade, à produção e à economicidade dos sistemas de produção de ruminantes, ainda existem numerosos equívocos e crendices acerca da suplementação mineral, os quais causam consideráveis prejuízos ao setor (MALAFAIA et al., 2014). Isso procede da escassez de estudos sobre as deficiências de minerais em ruminantes (SILVA et al., 2018). Ademais, a quantificação dos teores de cinzas ou da matéria mineral (MM) - a qual corresponde à análise de rotina adotada, nos laboratórios de avaliação de alimentos no Brasil - por si só não constitui uma indicação precisa da concentração dos minerais essenciais à nutrição dos animais (SANTOS et al., 2012).

Vale acrescentar ainda que a quantificação de MM ou das concentrações de minerais não representa, necessariamente, o conteúdo mineral assimilado pelos animais, já que pode haver compostos químicos, por exemplo, taninos, oxalato de cálcio, que tornam os minerais indisponíveis à absorção dos animais. A saber, a biodisponibilidade dos minerais é influenciada não só pelas reações químicas do sistema solo-planta, mas também pelas ligações químicas a compostos secundários, os quais podem promover a complexação dos minerais, tornando-os indisponíveis aos animais.

Portanto, ao alinhar a escassez de pesquisas, referentes à composição mineral dos recursos forrageiras disponíveis, no Semiárido, às interações do sistema solo-planta dessa região, objetivou-se avaliar a contribuição mineral das forrageiras nativas e exóticas *in natura* do Semiárido brasileiro, quer para o pastejo direto quer para a formulação de suplementos, como também analisar a dinâmica do sistema solo-planta no Semiárido brasileiro.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Semiárido brasileiro**

O Semiárido brasileiro abrange os estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2017). Essa região caracteriza-se não só pela distribuição irregular das chuvas tanto no espaço quanto no tempo, mas também por apresentar duas estações: a chuvosa, marcada por um curto período, com chuvas irregulares, e a seca, representada por um período prolongado de estiagem (ANDRADE et al., 2020). Esta apresenta umidade relativa de cerca de 40%, e aquela, de cerca de 60% (ARAÚJO, 2011).

Além disso, a região semiárida apresenta como clima típico o BSh, com variação pluviométrica de 300 a 1750 mm (ALVARES et al., 2013). Nesse aspecto, essa região é marcada por precipitações espaciais ao longo do ano, intensificada, sobretudo, no período seco (ANDRADE et al., 2020). Contudo, a probabilidade de ocorrência de pulsos-reserva aumenta, especialmente, durante a estação chuvosa (NOY-MEIR, 1973).

O Semiárido abrange cerca de 88,6% do território de Pernambuco (Figura 1), cuja temperatura média corresponde a 26°C, com amplitude térmica entre 24°C a 28°C, o que acarreta baixa umidade nessa região. Além disso, o Semiárido de Pernambuco é marcado pela ocorrência de longos períodos de estiagem, com índices pluviométricos anuais de 200 mm a 800 mm (NIMER, 1979), bastante irregulares e inferiores ao potencial de evapotranspiração, que ocasiona balanço hídrico anual negativo (ARAÚJO, 2011).



**Figura 1.** Semiárido de Pernambuco, Brasil.

Fonte: Agência Nacional de Águas (ANA) / Ministério da Integração (MI).

O período chuvoso, no Semiárido pernambucano, ocorre, geralmente, de fevereiro a maio, e a estação seca, de agosto a outubro (PORTO et al., 1983). Nos demais meses, há baixos índices pluviométricos (OMM-Nº. 49, 1988). Essas variações pluviométricas e térmicas, no Semiárido, são extremamente determinadas pelos fenômenos de El Niño e La Niña (XAVIER et al., 2003). Esta favorece a ocorrência das chuvas, enquanto aquele interfere, negativamente, na precipitação.

O clima do Semiárido é o principal fator, responsável pela variação dos demais elementos que compõem a paisagem. Dessa maneira, a vegetação e os processos de formação do relevo são diretamente influenciados pelas condições climáticas típicas dessa região (ARAÚJO, 2011). Assim, de forma geral, os solos dessa área apresentam características químicas adequadas, porém há limitações físicas referentes à topografia, à profundidade, à pedregosidade e à drenagem (OLIVEIRA et al., 2003), o que pode

induzir não apenas o escoamento superficial, mas também a baixa capacidade de infiltração e percolação da água no solo (ARAÚJO, 2011).

No Semiárido brasileiro, predominam estas classes de solo: neossolos (27,32%), latossolos (25,94%), argissolos (15,59%), luvisolos (12,18%), planossolos (10,84%) e cambissolos (6,02%). Ademais, essas classes de solos apresentam textura arenosa a franco-arenosa, bem como podem variar de rasos a profundos, com relativa capacidade de armazenamento de água. No entanto, em relação à extensão territorial, prevalecem solos profundos, como Latossolos e Neossolos (GAMA e JESUS, 2020).

Os solos do Semiárido apresentam concentrações de nutrientes bastante variáveis, sobretudo, em relação aos teores de nitrogênio (N) e fósforo (P). Nesse sentido, conforme Menezes et al. (2012), as concentrações médias de P e de carbono total do solo, na camada de 0 a 20 cm, dessa região, correspondem, respectivamente, a  $196 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $9,3 \text{ g.kg}^{-1}$ , o qual representa um estoque de carbono de cerca de  $23 \text{ Mg.ha}^{-1}$ . Além disso, esses mesmos autores estimam que a fixação biológica de  $\text{N}_2$  atmosférico varia de 3 a  $11 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e 21 a  $26 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  na Caatinga em estágio secundária e de regeneração, respectivamente.

O domínio Caatinga apresenta alta diversificada florística, com diversas espécies forrageiras que compõem os três estratos: herbáceo, arbustivo e arbóreo. Em termos de grupos de espécies botânicas, as monocotiledôneas e as eudicotiledôneas herbáceas integram mais de 80% da dieta dos ruminantes, durante a estação chuvosa, enquanto, na estação seca, há disponibilidade de folhagem seca tanto pelo estrato arbóreo quanto pelo estrato arbustivo (ARAÚJO FILHO et al., 1995).

As principais famílias desse domínio são representadas por *leguminosae* (278 espécies), *convolvulaceae* (103 espécies), *euphorbiaceae* (73 espécies), *malpighiaceae* (71 espécies), *poaceae* (66 espécies) e *cactaceae* (57 espécies) (GIULIETTI et al., 2006). Nesse sentido, o domínio Caatinga, em sentido restrito, apresenta 1.512 espécies, com, no mínimo, 318 espécies endêmicas desse bioma (GARIGLIO et al., 2010).

Nessa linha, as forrageiras herbáceas e as folhas e os ramos das plantas lenhosas do domínio Caatinga produzem cerca de  $4.000 \text{ kg}$  de matéria seca. $\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , entretanto apenas 10% (400 kg) se encontra disponível ao pastejo dos animais. Apesar disso, as espécies forrageiras da caatinga representam os principais componentes da dieta de caprinos e ovinos (PEREIRA FILHO et al., 2013). Ademais, a manipulação desse bioma, por meio de raleamento, rebaixamento e enriquecimento, favorece bastante o

acréscimo de fitomassa potencialmente pastável em torno de 40% (1600 kg), 60% (1600 kg) e 90% (3600 kg), respectivamente (ARAÚJO FILHO e CRISPIM, 2002).

Sob esse aspecto, a irregularidade das chuvas espaço-temporal, no Semiárido, com períodos de seca prolongados, acarreta a baixa produtividade dos rebanhos em pastejo (ALMEIDA et al., 2006). Nesse sentido, a utilização de espécies forrageiras arbustivas e arbóreas existentes na região é uma das formas de minimizar a baixa disponibilidade de forragem durante a estação seca (VIEIRA et al., 2005). Ademais, o cultivo de espécies forrageiras exóticas representa uma importante estratégia, a fim de aumentar o suprimento de alimentos para os animais (SANTOS et al., 2010).

Dentre alguns exemplares forrageiros nativos que são utilizados na alimentação dos animais em pastejo, destacam-se a maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii*), o angico (*Anadenanthera macrocarpa*), o pau ferro (*Caesalpinia ferrea*), a catingueira (*Caesalpinia pyramidalis*), o mororó (*Bauhinia sp.*), o sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia*) e o juazeiro (*Zyzyphus joazeiro*) (FERREIRA et al., 2009). Ademais, dentre as forrageiras cultivadas, destacam-se o capim-gramão (*Cynodon dactylon*, (L.) Pers. var. *aridus* cv Calie), o capim-corrente (*Urochloa mosambicensis* (Hack.) Dandy) e, sobretudo, o capim-buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) (MOREIRA et al., 2007).

## 2.2 Relação mineral entre solo-planta

A solução do solo representa uma complexa população de íons, que apresentam distintos potenciais de sorção (SCHUNKE, 2001). Além disso, essa fase do solo é a interface de interação entre a fase sólida do solo e o sistema radicular das plantas, ou seja, as plantas extraem os minerais que necessitam por meio da solução do solo, e a superfície da fase sólida do solo repõe-nos. Logo, há uma relação de equilíbrio entre essas duas fases do solo e, por conseguinte, impacta na absorção e nas concentrações dos minerais dos vegetais.

A troca de íons entre as fases sólida e aquosa do solo relaciona-se ao quantitativo de cargas existentes nas superfícies das partículas sólidas, o que determina a capacidade de troca de cátions (CTC) e de ânions (CTA). As forças de atração dessas cargas do solo podem ser internas ou de superfície (FERREIRA, 2016). Esta permite a reposição dos nutrientes à solução do solo, por se tratar de ligações iônicas, e aquela fixa os nutrientes, ou seja, torna-os indisponível às plantas, inclusive, em longo prazo, por se tratar de ligações covalentes, com a formação de complexos.

Geralmente, os solos apresentam predominância de cargas negativas que tanto podem ser permanentes quanto variáveis com pH. Estas últimas têm as cargas elétricas condicionadas à variação do pH (RAIJ, 1981), o qual interfere diretamente na disponibilidade dos nutrientes às plantas. Dessa forma, a composição mineralógica e a matéria orgânica do solo determinam a disponibilidade dos nutrientes (FERREIRA, 2016), uma vez que a matéria orgânica adiciona cargas elétricas à superfície do solo.

A presença de um elemento em alta concentração em relação à de outro elemento limita a absorção deste, por inibição competitiva ou não-competitiva, e favorece o acúmulo daquele nas plantas (SCHUNKE, 2001). Nesse sentido, a quantidade e a proporcionalidade dos nutrientes absorvidos pelas plantas são limitadas por características intrínsecas e extrínsecas ao vegetal (MARSCHNER, 1995; FERREIRA, 2016).

A disponibilidade dos nutrientes é influenciada tanto pela umidade do solo quanto pela temperatura do solo. Por outro lado, o acúmulo e a distribuição dos nutrientes minerais na planta dependem do estágio de desenvolvimento vegetal (OLIVEIRA et al., 2010), uma vez que, à medida que há o envelhecimento da planta, ocorre a diminuição das concentrações de nitrogênio, fósforo e magnésio, bem como há o aumento dos teores de cálcio (SCHUNKE, 2001).

Sob esse aspecto, para que ocorra a absorção dos nutrientes, é necessário que haja o contato íon-raiz, que pode ocorrer por meio de três vias: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão. A primeira via decorre do desenvolvimento do sistema radicular, o que permite a exploração de maior área de solo e, com isso, permite o contato direto com a superfície e a solução do solo. A segunda via diz respeito ao movimento do íon por meio da água, isto é, por um gradiente de tensão. A terceira via corresponde ao deslocamento do íon, a curta distância, em fase aquosa estacionária (FAQUIN, 2005).

Esses mecanismos apresentam participações variáveis na absorção dos nutrientes. Nesse contexto, o nitrogênio, o cálcio, o magnésio, o enxofre e os microminerais são absorvidos por fluxo de massa; o fósforo e o potássio, por difusão (FAQUIN, 2005). Por outro lado, a interceptação radicular apresenta baixa contribuição na absorção dos nutrientes. Dessa forma, as concentrações de minerais das forrageiras não apenas dependem da dinâmica físico-química do solo, mas também das vias de incorporação dos minerais à estrutura vegetal.

### **2.3 Relação mineral entre planta-animal**

Os animais suprem suas necessidades de minerais, principalmente, pela ingestão das plantas as quais pastejam (GOKKUS et al., 2013). A capacidade das plantas em acumular minerais em sua constituição varia com o desenvolvimento vegetal, o conteúdo mineral, o sistema radicular, a estrutura do solo, bem como com a quantidade e a distribuição das chuvas (TEMEL e SURMEN, 2018; TEMEL, 2019). Dessa forma, a composição química mineral varia quanto ao clima, ao tipo de solo, à espécie, à variedade, às partes da planta, ao estágio fenológico e aos fatores abióticos (UNDERWOOD e SUTTLE, 1999; GUERRERO-CERVANTES et al., 2012).

Além disso, os esterco dos animais em pastejo podem contribuir para o fornecimento de nutrientes às plantas. Como o processo de decomposição desses dejetos retorna ao solo nutrientes, como carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e micronutrientes, os quais poderão ser incorporados novamente à composição estrutural das forrageiras, podem influenciar diretamente a composição mineral dessas plantas.

Nesse contexto, Souto et al. (2013) verificaram que os esterco de caprinos apresentam elevadas concentrações de N, Ca e Mg, os de ovinos, elevadas concentrações de N, Ca, P e Mg, e os de bovinos, elevados teores de P e K. Entretanto, a distribuição espacial desuniforme dos dejetos animais limita a ciclagem de nutrientes em uma área específica, o que favorece um grande variação da composição mineral das forrageiras.

A ingestão voluntária e as concentrações de minerais presentes nos alimentos influenciam o consumo de minerais. Assim, a ingestão adequada de forragem por animais criados a pasto é fundamental a fim de atender às suas necessidades de macro e microminerais. Os fatores que reduzem a ingestão de forragem e, conseqüentemente, o consumo total de minerais são, por exemplo, o baixo teor de proteína e o alto grau de lignificação da forrageira (AHMAD et al., 2008; MIRZAEI, 2012).

A variabilidade sazonal pode também afetar significativamente a ingestão de minerais devido a mudanças na composição, no estágio de crescimento e na disponibilidade de pasto, como também devido a alterações no conteúdo de água e salinidade do solo (AHMAD et al., 2008). Portanto, a nutrição mineral, em ruminantes, é potencialmente limitada tanto pela disponibilidade mineral no solo quanto nas plantas (GÓRSKI e SABA, 2015).

## 2.4 Composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro

As plantas nativas são fontes indispensáveis que integram a alimentação animal, principalmente, em áreas de climas semiáridos (JUAREZ-REYES et al., 2004). Essas espécies reduzem as carências alimentares ou, até mesmo, preenchem lacunas na alimentação no inverno e, sobretudo, no verão, quando o crescimento dos pastos é limitado ou latente, devido às condições climáticas desfavoráveis. Incluem-se vários arbustos, pequenas árvores, frutos, flores, vagens e cactos, que são componentes essenciais de locais naturais, como a Caatinga (GUERRERO-CERVANTES et al., 2012).

O suprimento de minerais pelas espécies nativas com potencial forrageiro é crucial, para produção de ruminantes a pasto, apesar de haver variações sazonais nos teores de minerais ao longo do ano, essas forrageiras podem contribuir para o atendimento inferior, total ou superior às exigências dos animais. Isso foi constatado em pastagens nativas dos planaltos centrais da Etiópia, onde foram observadas concentrações de K superiores às necessidades dos animais em pastejo (GIZACHEW e SMIT, 2012).

Contudo, esses mesmos autores observaram que os teores de N, P, Na e Mg foram inferiores às exigências nutricionais de bovinos leiteiros e de corte. Por outro lado, no Vale Soone, Cordilheira do Sal na província de Punjab, Paquistão, a maioria das espécies forrageiras nativas analisadas apresentou quantidades suficientes de macrominerais para ruminantes em pastejo (AHMAD et al., 2008).

Conquanto o uso dos recursos forrageiros nativos seja fundamental para criação de ruminantes no Semiárido brasileiro, há informações limitadas acerca da contribuição mineral das forrageiras nativas *in natura* nessa região, das quais se destacam as espécies forrageiras do gênero *Manihot*, que apresentam elevado valor nutritivo, alto potencial produtivo, resistência à seca, bem como persistência a solos ácidos e de baixa fertilidade (ALMEIDA e FERREIRA FILHO, 2005). Dentre as forrageiras desse gênero, destaca-se a maniçoba (*Manihot glaziovii*), forrageira nativa da vegetação da caatinga, a qual apresenta raízes tuberosas que acumulam reservas minerais (FERREIRA et al., 2009).

Outro importante recurso forrageiro desse gênero para produção animal é a Pornunça (*Manihot* spp.), híbrido originário do cruzamento entre a maniçoba e a mandioca, de ocorrência no Semiárido brasileiro, a qual apresenta também alto valor nutritivo e boa aceitabilidade pelos ruminantes (FERREIRA et al., 2009). Ao analisar o conteúdo mineral da parte aérea da maniçoba e da pornunça, no Semiárido, sob duas podas, Ferreira et al. (2009) observaram variações das concentrações de 0,15 a 0,17%

de P; de 0,41 a 0,53% de K; de 1,28 a 1,35% de Ca; e de 0,36 a 0,39% de Mg, para maniçoba, e de 0,18% de P; de 0,50 a 0,65% de K; de 0,97 a 1,22% de Ca; e de 0,33 a 0,37% de Mg, para pornunça.

Ademais, no Sertão paraibano, Pereira (2012), ao analisarem a contribuição mineral das espécies arbóreas nativas da Caatinga - catingueira (*Poincianella pyramidalis*), mororó (*Bauhinia cheilantha*), angico (*Anadenanthera colubrina*) e jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) (Tabela 2) -, observou maior acúmulo de Na nas folhas de angico, o que, possivelmente, demonstra a contribuição dessa forrageira em relação ao fornecimento, sobretudo, de Na aos animais e, por conseguinte, para a suplementação mineral dos rebanhos. Além disso, é importante ressaltar a possibilidade da complementaridade mineral, a fim de atender às exigências minerais de ruminantes, já que há uma grande diversidade florística da vegetação nativa do Semiárido.

**Tabela 1.** Concentrações de macro e microminerais de quatro espécies arbóreas nativas da Caatinga

Itens	Macrominerais						Microminerais				
	P	K	Ca	Mg	Na	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/kg						mg/kg				
<b>Catingueira</b>	2,33	11,8	13,83	2,59	1,59	0,122	1,20	11,5	62,5	64,75	19,75
<b>Mororó</b>	2,27	11,5	17,29	2,96	1,45	0,098	1,20	3,25	51,25	183	13,75
<b>Angico</b>	1,57	11,6	19,18	5,39	1,89	0,263	1,02	9,36	36,87	25,92	9,25
<b>Jurema-preta</b>	2,32	9,8	17,51	3,18	1,77	0,117	1,20	7,0	58,0	92,75	17,0

Fonte: Adaptada de Pereira (2012).

Outra espécie forrageira nativa do Nordeste brasileiro de importância para produção animal é o sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.), leguminosa arbórea com ou sem acúleos, sendo consumida pelos animais tanto no período chuvoso quanto no período seco (VIEIRA et al., 2005). Quanto à sua contribuição mineral, Vieira et al. (2005), no Instituto Agrônomo de Pernambuco, situada no município de Itambé, consideraram-na como uma importante fonte mineral com poucas diferenças em relação a outras leguminosas. Além disso, não observaram diferenças do conteúdo mineral entre as estações: chuvosa e seca ( $P < 0,05$ ) (Tabela 2). Portanto, esses resultados demonstram a contribuição mineral dessa leguminosa para a alimentação animal, bem como o potencial de conservação da composição mineral, sobretudo, durante a estação seca.

**Tabela 2.** Variações das concentrações de macro e microminerais do sabiá com e sem acúleos nas estações chuvosa e seca

Itens	Sabiá com acúleos		Sabiá sem acúleos	
	Chuvosa	Seca	Chuvosa	Seca
Ca (%)	1,02	1,49	0,99	1,48
P (%)	0,14	0,20	0,24	0,16
K (%)	1,72	1,61	1,54	1,66
Na (%)	0,15	0,25	0,1	0,3
Mg (%)	0,55	0,44	0,71	0,3
S (%)	0,15	0,12	0,15	0,12
Fe (mg/kg)	117,4	160,9	133,2	216
Cu (mg/kg)	20,67	17,4	19,94	21,3
Zn (mg/kg)	38,2	48,66	52,71	38,1
Mn (mg/kg)	74,61	84,7	67,36	93,1

Fonte: Adaptada de Vieira et al. (2005).

Outra estratégia aplicada à alimentação animal diz respeito ao uso de forrageiras exóticas, as quais foram introduzidas como alternativas de complementação ou de substituição de pastagens nativas, a fim de melhorar a disponibilidade e a qualidade de forragem (SEIFFERT et al., 1990). Essas forrageiras contribuem para o atendimento das necessidades nutricionais dos animais, em especial de minerais, como Khan et al. (2007) observaram, em oito pastagens cultivadas para caprinos e ovinos, no Paquistão. Esses autores verificaram que os teores de Ca, Mg e K foram adequados, contudo os de Na foram severamente deficitários para ruminantes em pastejo.

Nessa mesma linha, na região de Borgou, em Benin, Adjolohoun et al. (2008) observaram o suprimento potencialmente deficiente de Na, P, Cu e Zn em pastagens cultivadas de *Panicum maximum* cv. C1, *Andropogon gayanus* var. bisquamulatus e *Pennisetum purpureum*. Nesse sentido, o cultivo de espécies forrageiras exóticas adaptadas às condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro deve nortear a escolha dos recursos forrageiros a serem utilizados.

Sob esse aspecto as plantas halófitas, por apresentarem alta resistência à salinidade e à baixa precipitação (HEDAYATI-FIROOZABADI et al., 2020), configuram-se como uma importante estratégia forrageira para o Semiárido. Essas plantas caracterizam-se por apresentar alto teor de cinzas (TEMEL e KESKIN, 2019) e por produzirem forragens de alta qualidade, por isso são consideradas como uma das principais fontes alimentares para a nutrição de ruminantes (MARINONI et al., 2019). Nesse sentido, a

erva-sal representa um dos recursos forrageiros estratégicos para o Semiárido, principalmente, em relação ao suprimento das exigências minerais dos ruminantes (SANTOS et al., 2009).

O potencial mineral da erva-sal foi observado por Santos et al. (2009), por meio da inclusão de teores crescentes dessa forrageira nas silagens de capim elefante. Esses autores verificaram que essa adição contribuiu para o atendimento das exigências minerais dos ruminantes. A maioria das plantas halófitas acumula, nas folhas, elevadas concentrações de Na (FLOWERS, 2004), o que ressalta o potencial dessas forrageiras como fontes de suplementação para os rebanhos, sobretudo, durante a estação seca, uma vez que essas plantas apresentam estratégias de osmorregulação durante períodos secos e salinos (NEDJIMI, 2012).

A leucena (*Leucaena leucocephala*) é considerada uma das forrageiras exóticas mais promissoras para o Nordeste brasileiro, devido à qualidade nutricional e à persistência à seca. Essa forrageira pode ser utilizada sob a forma de bancos de proteína, de feno ou de silagem (DANTAS et al., 2008; BARRETO et al., 2010). Ademais, constitui-se como uma importante fonte de proteínas e, em especial, de minerais, podendo fornecer cerca de 0,17 a 0,29% de P; 0,70 a 1,18% de Ca; 0,63 a 1,02% de K; e 0,81 a 0,9% de Mg (COSTA et al., 1990; MARTINEZ et al., 1990; SCAPINELLO et al., 2003; COSTA et al., 2004). No feno e na silagem de leucena, pode-se fornecer cerca de 2,36% de Ca e 0,23% de P (BARRETO et al. 2010).

Outra possível alternativa que se destaca no Semiárido brasileiro é o capim-corrente (*Urochloa mosambicensis* (Hack.) Daudy), gramínea de origem africana, o qual apresenta resistência moderada à seca, bem como adaptação a regiões quentes (OLIVEIRA, 2005). No que se refere à contribuição mineral dessa gramínea, Silva e Farias (1995), no Campo Experimental de Manejo da Caatinga do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semiárido - Embrapa Semiárido, constataram concentrações de 0,08% de P; 1,31% de N; 0,63% de Ca; 0,32% de Mg; 1,78% de K; 7 ppm de Cu; 185 ppm de Mn; 43ppm de Zn; e 142 ppm de Fe.

A melancia forrageira (*Citrullus lanatus* var. *citroides*) é outro recurso forrageiro que se adapta às condições edafoclimáticas do Semiárido. Essa forrageira pertence à família da *cucurbitácea* e apresenta elevado potencial forrageiro em áreas áridas e semiáridas (SANTOS et al., 2017). Ademais, a melancia forrageira é considerada uma importante fonte de água e de carboidratos (KAVUT et al., 2014), bem como de minerais, por isso a composição química dessa forrageira é considerada relevante ao

atendimento das exigências nutricionais dos animais no Semiárido. Nesse contexto, relativo à composição mineral do fruto da melancia forrageira, Oliveira e Bernardino (2000) verificaram 0,07% de P; 0,33% de Ca; 0,33% de Mg; 5,04% de K; 177% de Na; 16 ppm de Cu; 9 ppm de Mn; 74 ppm de Zn; e 167 ppm de Fe.

Portanto, embora as informações acerca da contribuição mineral das espécies forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro sejam pontuais, demonstra-se, nos poucos apresentados, o potencial mineral desses recursos forrageiros para a alimentação de ruminantes no Semiárido. Nesse contexto, a associação das espécies forrageiras exóticas adaptadas às condições edafoclimáticas do Semiárido às forrageiras nativas dessa região configura-se como uma importante estratégia para a produção animal, a fim de suprir as necessidades nutricionais do rebanho, em particular de minerais, no Semiárido brasileiro.

### 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADJOLOHOUN, S.; BULDGEN, A.; ADANDEDJAN, C.; DARDENNE, P.; DECRUYENAERE, V. Production and nutritive value of three grass species cultivated for ley pasture in the Borgou region of Benin. **Tropical Grasslands**. v.42, n.4, p.237–244, 2008.
- AHMAD, K.; ASHRAF, M.; KHAN, Z. I.; VALEEM, E.E. evaluation of macro-mineral concentrations of forages in relation to ruminants requirements: A case study in Soone valley, Punjab, Pakistan. **Pakistan Journal of Botanic**, v.40, n.1, p.295-299, 2008.
- ALMEIDA, A.C.S.; FERREIRA, R.L.C; SANTOS, M.V.F.; SILVA, J.A.A; LIRA, M.A.; GUIM, A. Avaliação bromatológica de espécies arbóreas e arbustivas de pastagens em três municípios do Estado de Pernambuco. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.28, n.1, p.1-9, 2006.
- ALMEIDA, J.; FERREIRA FILHO. J.R. Mandioca: uma boa alternativa para alimentação animal. **Bahia Agrícola**, v.7. n.1, p.50-56, 2005.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONCALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- ANDRADE, A.P.; SILVA, D.S.; BRUNO, R.L.A.; SILVA, D.L.S.; MELO JUNIOR, J.L.A.; MAGALHÃES, A.L.R.; MELO, L.D.F.A.; MEDEIROS, A.N. Temporal rainfall variability as inductor of the phenology of Brazilian semiarid species. **Australian Journal of Crop Science**. v.14, n.2, p.299-307, 2020.
- ARAÚJO FILHO, J.A.; CARVALHO, F.C.; GARCIA, R.; SOUSA, R.A. Efeitos da manipulação da vegetação lenhosa sobre a produção e compartimentalização da fitomassa pastável de uma caatinga sucessional. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.11-19, 2002.

ARAÚJO FILHO, J.A.; SOUSA, F.B.; CARVALHO, F.C. Pastagens no Semiárido: Pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: Simpósio sobre Pastagens nos Ecossistemas Brasileiros: Pesquisa para o desenvolvimento sustentável, 1995. Brasília, DF. **Anais...Brasília: SBZ**, p.63-75, 1995.

ARAÚJO, S. M. S. A região Semiárida do nordeste do Brasil: Questões Ambientais e Possibilidades de uso Sustentável dos Recursos. Rios Eletrônica - **Revista Científica da FASETE**, n.5, p.90-98, 2011.

BARRETO, M.L.J.; LIMA JUNIOR, D.M.; OLIVEIRA, J.P.F.; AGUIAR, E.M. Utilização da leucena (*Leucaena Leucocephala*) na alimentação de ruminantes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.5, n.1, p.7-16, 2010.

COSTA, E.S.; SOUZA, A.A.; BEZERRA NETO, F.; LIMA, F.A.M.; PEREIRA, R.M.A. Valor nutritivo e efeito de diferentes níveis de feno de leucena sobre o consumo e digestibilidade das rações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.9, p.1357-1366, 1990.

COSTA, H.; SALIBA, E.; GALVANI, D.; BOMFIM, M.A.D.; LANA, A.L.; BORGES, A.; LANDIM, A.; FACIOLA, A. Effects of zinc sulfate or propylene glycol on intake, digestibility, and forage selection by grazing sheep in a semi-arid region during the rainy season. **Animals**, v.9, p.867-881, 2019.

COSTA, N.L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; PEREIRA, R.G.A. Efeito do diferimento sobre a produção de forragem e composição química da leucena. **Revista Científica de Produção Animal**, v.6, n.2, p.16-22, 2004.

DANTAS, F.R.; ARAÚJO, G.G.L.; BARROSO, D.D.; MEDINA, F.T. Qualidade das silagens de leucena (*Leucaena leucocephala*) e gliricídia (*Gliricidia sepium*) sob diferentes épocas de abertura dos silos. In: Congresso Nordeste de Produção Animal, 5. 2008, Aracaju. **Anais... Aracaju-SE: SNPA**, 2008.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. Curso de Pós-Graduação "Lato Sensu" (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. 2005, p.186.

FERREIRA, A.L.; SILVA, A.F.; PEREIRA, L.G.R.; BRAGA, L.G.T.; MORAES, S.A.; ARAUJO, G.G.L. Produção e valor nutritivo da parte aérea da mandioca, maniçoba e pornunça. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v.10, n.1, p.129-136, 2009.

FERREIRA, C.F. **Fertilidade do solo: correção e adubação**. – Curitiba: SENAR - PR, v.1, 2016, p.74.

FLOWERS, T.J. Improving crop salt tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v.55, p.307-319, 2004.

GAMA, D.C.; JESUS, J.B. Principais solos da região semiárida do Brasil favoráveis ao cultivo do eucalyptus l' heritier. **BIOFIX Scientific Journal**, v.5, n.2, p.214-221, 2020.

GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.; CESTARO, L.A.; KAGEYAMA, P.Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368p.

GIZACHEW, L.; SMIT, G.N. The status and importance of crude protein and macro minerals in native pastures growing on Vertisols of the central highlands of Ethiopia. **Journal of Environmental Management**, v.93, p.177-184, 2012.

GIULIETTI, A. M.; CONCEIÇÃO, A.; QUEIROZ, L. P. **Diversidade e caracterização das fanerógamas do semiárido brasileiro**. Recife: Associação Plantas do Nordeste, 2006. 488p.

GOKKUS, A.; PARLAR, A.O.; BAYTEKIN, H.; HAKYEMEZ, B.H. Change of mineral composition of herbaceous species at the Mediterranean shrublands. **Journal of Tekirdag Agricultural Faculty**. v.10, n.1, p.1-10, 2013.

GÓRSKI, K.; SABA, L. Assessment of manganese levels in the soil and feeds, and in the bodies of milk cows from Central-Eastern Poland administered a mineral compound feed. **Acta Scientiae Veterinariae**, v.43, n.1288, p.1-6, 2015.

GUERRERO-CERVANTES, M.; RAMIREZ, R.G.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, H.; CERRILLO-SOTO, A.; JUAREZ-REYES, A. Mineral content in range forages from north Mexico. **Journal of Applied Animal Research**, v.40, n.2, p.102-107, 2012.

HEDAYATI-FIROOZABADI, A.; KAZEMEINI, S.A.; PIRASTEH-ANOSHEH, H.; GHADIRI, H.; PESSARAKLI, M. Forage yield and quality as affected by salt stress in different ratios of Sorghum bicolor-Bassia indica intercropping. **Journal Plant Nutrition**, v.43, p.2579-2589, 2020.

JUAREZ-REYES, A.S.; MONTOYA, E.R.; NEVAREZ, C.G.; CERRILLO, S.M.A.; MOULD, F.L. *In situ* degradability of dry matter and neutral-detergent fibre of thorn scrublands forage consumed by goats in the semi-arid region of north Mexico. **Animal Science**. v.79, p.505-511, 2004.

KAVUT, Y.T.; GEREN H.; SIMIĆ, A. Effect of different plant densities on the fruit yield and some related parameters and storage losses of fodder watermelon (*Citrillus lanatus* var. *citroides*) fruits. **Turkish Journal of Field Crops**. v.19, p.226-230, 2014.

KHAN, Z.I.; ASHRAF, M.; HUSSAIN, A. Evaluation of macro mineral contents of forages: Influence of pasture and seasonal variation. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v.20, n.6, p.908-913, 2007.

LEITE, M.L.M.V.; SILVA, S.S.; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.S.; RAMOS, J.P.F. Caracterização da produção de palma forrageira no Cariri Paraibano. **Revista Caatinga**, v.27, n.2, p.192-200, 2014.

MALAFAIA, P.; COSTA, R.M.; BRITO, M.F.; PEIXOTO, P.V.; BARBOSA, J.D.B.; TOKARNIA, C.H.; DÖBEREINER, J. Equívocos arraigados no meio pecuário sobre deficiências e suplementação minerais em bovinos no Brasil. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.34, n.3, p.244-249, 2014.

MARINONI, L.; ZABALA, J.M.; TALEISNIK, E.L.; SCHRAUF, G.E.; RICHARD, G.A.; TOMAS P.A.; GIAVEDONI, J.A.; PENSIERO, J.F. Wild halophytic species as forage sources: key aspects for plant breeding. **Grass Forage Science**, n.74, p.321-344, 2019.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. London: Academic, 1995. 889p.

MARTINEZ, L.E.M.; TERGAS, L.E.; MENDEZ-CRUZ, A.V. Producción de forraje y valor nutritivo de *Leucaena leucocephala* en la región semiárida del sur de Puerto Rico. **Pasturas Tropicales**, v.12, n.3, p.25-28, 1990.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GIONGO, V.; PÉREN-MARIN, A.M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v.72, p.643-653, 2012.

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Resolução nº 115, de 23 de novembro de 2017. Diário Oficial da União.** Conselho Deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, 2017.

MIRZAEI, F. Minerals profile of forages for grazing ruminants in Pakistan. **Open Journal of Animal Sciences**. v.2, n.3, p.133-141, 2012.

MOREIRA, J.N.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; ARAÚJO, G.G.L.; SILVA G.G. Potencial de produção de capim Buffel na época seca no semiárido pernambucano. **Revista Caatinga**, v.20, p.22-29, 2007.

NEDJIMI, B. Seasonal variation in productivity, water relations and ion contents of *Atriplex halimus* spp. *Schweinfurthii* grown in Chott Zehrez wetland, Algeria. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, v.11, p.43-49, 2012.

NIMER, E. **Pluviometria e recursos hídricos de Pernambuco e Paraíba.** Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 128 p.

NOY-MEIR, I. **Desert ecosystems: environment and producers.** Annual Review of Ecology and Systematics. v.4, 25-41, 1973.

OLIVEIRA, A.E.S.; SÁ, J.R.; MEDEIROS, J.F.; NOGUEIRA, N.W.; SILVA, K.J.P. INTERAÇÃO da adubação organomineral no estado nutricional das plantas. **Revista Verde**, v.5, n.3, p.53-58, 2010.

OLIVEIRA, M.C. Capim-urocloa. In: KIILL, L.H.P.; MENEZES, E.A. **Espécies vegetais exóticas com potencialidades para o Semiárido brasileiro**, p.207-225, 2005.

OLIVEIRA, M.C.; BERNARDINO, F.A. **Melancia forrageira, um novo recurso alimentar para a pecuária das regiões secas do Nordeste do Brasil.** Circular Técnica da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, 2000. 17p.

OLIVEIRA, L.B.; RIBEIRO, M.R.; FERRAZ, F.B.; JACOMINE, P.K.T. Classificação de solos Planossólicos do sertão do Araripe. **Revista Brasileira de Ciências Solo**, n.4, v.27, p.685-693, 2003.

PEREIRA, E.A.A. **Estrutura fitossociológica e composição mineral de espécies lenhosas de um fragmento de Caatinga no Semiárido.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural– Patos - PB: UFCG, CSTR, PPGEF, p. 74. 2012.

PEREIRA FILHO, J.M.; SILVA, A.M.A.; CÉZAR, M.F. Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.14, p.77-90, 2013.

PEDREIRA, M.S.; BERCHIELLI, T.T. Minerais. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de ruminantes.** Jaboticabal-SP: Funep, p.333-353, 2006.

PORTO, E. R.; GARAGORRY, F. L.; SILVA, A. de S.; MOITA, A. W. **Risco climático: estimativa de sucesso da agricultura dependente de chuva para diferentes épocas de plantio I.** Cultivo do feijão (*Phaseolus vul-garis* L.). Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1983. 129 p. (EMBRAPACPATSA Documentos, 23).

RAIJ, B.V. **Avaliação da fertilidade do solo.** Piracicaba: Instituto da Potassa E Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142p.

SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; GUIM, A.; MELLO, A.C.L.; CUNHA, M.V. Potential of Caatinga forage plants in ruminant feeding. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.39, p.204-215, 2010.

SANTOS, R.M.; MELO, N.F.; FONSECA, M.A.J.; QUEIROZ, M.A.A. Capacidade de combinação em germoplasma de melancia forrageira (*Citrullus lanatus* var. citroides). **Revista Caatinga**, v.30, n.3, p.768-775, 2017.

SANTOS, S.A.; MACHADO, P.A.S.; LADEIRA, M.M. Preparo de solução mineral. In: DETMANN, E. SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C.; QUEIROZ, A.C.; BERCHIELLI, T.T.; SALIBA, E.O.S.; CABRAL, L.S.; PINA, D.S.; LADEIRA, M.M.; AZEVEDO, J.A.G. **Métodos para análise de alimentos.** Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal, Editora Suprema, Visconde do Rio Branco, MG, 2012. 214p.

SANTOS, O.O.; MISTURA, C.; ARAÚJO, G.G.L.; PEREIRA, L.G.R.; PORTO, E.R. ARAÚJO, J.R.; SILVA, J.R.R. Composição mineral de silagens de erva sal com diferentes proporções de capim elefante. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 46, 2009, Maringá-PR. **Anais...** Maringá: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2009.

SCAPINELLO, C.; ANTUNES, E.B.; FURLAN, A.C.; JOBIM, C.C.; FARIA, H.G. Fenos de leucena (*Leucaena leucocephala* e *Leucaena leucocephala* cv. 'Cunningham') para coelhos em crescimento: digestibilidade e desempenho. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.25, n.2, p.301-306, 2003.

SCHUNKE, R.M. **Interações entre a adubação de pastagens e a suplementação mineral de bovinos.** Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2001. 25p.

SEIFFERT, N.F.; SALERNO, A.R.; RAMOS, M.G. **Avaliação do sistema de alimentação de vacas leiteiras da região do Vale do Itajaí e litoral norte de Santa Catarina.** Florianópolis-SC: EMPASC, 1990. 104p.

SILVA, C.M.M.S.; FARIA, C.M.B. Variação estacional de nutrientes e valor nutritivo em plantas forrageiras tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.3, p.413-420, 1995.

SILVA, N.C.D.; MARTINS, T.L.T.; BORGES, I. Macrominerais: deficiências e interações com a produção e nutrição de ruminantes. **Scientia Agraria Paranaensis**, v.17, n.3, p.263-271, 2018.

SOUTO, P.C.; SOUTO, J.S.; NASCIMENTO, J.A.M. Liberação de nutrientes de esterco em luvisolo no Semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.26, n 4, p.69-78, 2013.

TEIXEIRA, S.; BRANCO, A.F.; GRANZOTTO, F.; BARRETO, J.C.; ROMA, A.F.C.; CASTAÑEDA, R.D. Fontes de fósforo em suplementos minerais para bovinos de corte

em pastagem de *Cynodon nlemfuensis* Vandyerst. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, n.1, p.190-199, 2011.

TEMEL, S.; KESKIN, B. Annual evaluation of nutritional values of *sassola ruthenica* evaluated as a potential feed source in arid-pasture áreas. **Fresenius Environmental Bulletin**, v.28, n.10, p.7137-7144, 2019.

TEMEL, S.; SURMEN, M. Mineral content changes of some halophyte species evaluated as alternative forage crops for ruminants' nutrition. **Fresenius Environmental Bulletin**, v.27, n.11, p.7340-7347, 2018.

TEMEL, S. The determination of changes in monthly mineral content of thorny saltwort (*Noaea mucronata* subsp. *Mucronata*). **Fresenius Environmental Bulletin**, v.28, n.4, p.2421-2424, 2019.

TOKARNIA, C.H.; DÖBEREINER, J.; PEIXOTO, P.V.; CANELLA, C.F.C. Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, n.3, p.127-138, 2000.

UNDERWOOD, E.J.; SUTTLE, N.F. **The mineral nutrition of livestock**. 3<sup>rd</sup> ed. CABI Publishing, 1999. 614p.

UNDERWOOD, E.J.; SUTTLE, N.F. **Los minerales en la nutrición del ganado**. Editorial Acribia S.A., 2003. 648p.

VIEIRA, E.L.; CARVALHO, F.F.R.C.; BATISTA, A.M.V.; FERREIRA, R.L.C.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; SILVA, M.J.; SILVA, E.M.B. Composição química de forrageiras e seletividade de bovinos em bosque-de-Sabiá (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth.) nos períodos chuvoso e seco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p.1505-1511, 2005.

XAVIER, A. F. S.; SILVA-DIAS, M. A. F.; SILVA-DIAS, P. L. Inter-relações entre Eventos ENOS (ENSO), a ZCIT (ITCZ) no Atlântico e a Chuva nas Bacias Hidrográficas do Ceará. **Revista Brasileira Recursos Hídricos**, v.8, n.2, p.111-126. 2003.

Organização Mundial de Meteorologia n° 49. **Technical Regulations: General Meteorological Standards and Recommended Practices**. v.1, Secretariat of the World Meteorological Organization. Geneva, 1988.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Geral**

Analisar as inter-relações minerais do sistema solo-planta e as suas influências na composição mineral de espécies forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro

### **4.2 Específicos**

- Quantificar as concentrações dos minerais do solo e de 19 forrageiras nativas e exóticas *in natura* do Semiárido brasileiro;
- Descrever as inter-relações minerais do sistema solo-planta do Semiárido brasileiro;
- Avaliar a influência das inter-relações minerais do sistema solo-planta na composição mineral de 19 espécies forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro.

## **CAPÍTULO II**

---

**Inter-relações do sistema solo-planta e composição mineral de espécies forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro**

SEVERO, M.F.S. **Inter-relações do sistema solo-planta e composição mineral de espécies forrageiras nativas e exóticas no semiárido de Pernambuco.** Dissertação (Mestrado em Ciência Animal e Pastagens). Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal e Pastagens. UFRPE. Garanhuns-PE. Orientador: Prof. Dr. André Luiz Rodrigues Magalhães.

## RESUMO

As interações solo-planta influenciam diretamente a composição mineral vegetal. Nesse sentido, objetivou-se analisar as inter-relações minerais do sistema solo-planta e as suas influências na composição mineral de espécies forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro. O experimento desenvolveu-se no Campo Experimental da Caatinga e na área de Caatinga nativa da Embrapa Semiárido de Petrolina-PE, onde se procedeu a análise química de solo e se coletaram as folhas e os ramos de 11 espécies forrageiras nativas e 9 exóticas, com diâmetro de, no máximo, 5 mm. Nos extratos vegetais, os teores de B, P e S determinaram-se por colorimetria da azometina H, colorimetria de metavanadato e turbidimetria de sulfato de bário, respectivamente; e os teores de N, pelo método de Kjeldahl. Quantificaram-se as concentrações de Na e K por fotometria de chama, e as de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn, por espectrofotometria de absorção atômica. Os dados das características químicas do solo e das concentrações de minerais das plantas foram submetidos à análise de variância, e compararam-se as médias, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para analisar as interações solo-planta, utilizou-se análise multivariada de componentes principais (CP). Nesse contexto, observaram-se as maiores concentrações de N e S na leucena (38,88 e 2,79 g.kg<sup>-1</sup>), e de Ca no juazeiro (27,18 g.kg<sup>-1</sup>), o qual também se destacou na oferta de S (2,72 g.kg<sup>-1</sup>). A erva-sal destacou-se, principalmente, no fornecimento de Na (34,75 g.kg<sup>-1</sup>). Ademais, identificaram-se as maiores concentrações de Cu na melancia forrageira (21,65 mg.kg<sup>-1</sup>), e de Zn na pornunça e no capim-braquiária decumbens (69,09 e 62,69 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente). No que se refere ao CP1, observaram-se as maiores relações entre os teores de Fe, Zn, K e Mg do solo; saturação por bases; e as concentrações de Mn, Cu, Na, K, N e Mg das plantas, e, para o CP2, identificaram-se as maiores interações entre os teores de Ca, Al e P do solo; a condutividade elétrica do solo; e o pH do solo. Dessa forma, as espécies forrageiras apresentam concentrações minerais adequadas ao suprimento das exigências de N, K, Mg, Ca, S, Na, B, Cu, Zn e Mn de ruminantes, exceto as de P, e a composição mineral dessas forrageiras é determinada, sobretudo, pelas concentrações de Mn das plantas e de Zn, Fe e Mn do solo.

**Palavras chaves:** relação solo-planta; ruminantes; Caatinga; minerais; nutrição mineral.

SEVERO, M.F.S. **Interrelations of the soil-plant system and mineral composition of native and exotic forage species in the semi-arid region of Pernambuco.** Dissertation (master's in animal science and Pastures). Graduate Program in Animal Science and Pastures. UFRPE. Garanhuns-PE. Advisor: Prof. Dr. André Luiz Rodrigues Magalhães.

## SUMMARY

Soil-plant interactions directly influence plant mineral composition. In this sense, the objective was to analyze the mineral interrelationships of the soil-plant system and their influences on the mineral composition of native and exotic forage species of the Brazilian semiarid region. The experiment was carried out in the Caatinga Experimental Field and in the native Caatinga area of Embrapa Semi-arid Petrolina-PE, where the soil chemical analysis was carried out and the leaves and branches of 11 native and 9 exotic forage species were collected, with diameter of a maximum of 5 mm. In plant extracts, B, P and S contents were determined by azomethine H colorimetry, metavanadate colorimetry and barium sulfate turbidimetry, respectively; and N contents, by the Kjeldahl method. Na and K concentrations were quantified by flame photometry, and Ca, Mg, Cu, Fe, Mn and Zn concentrations by atomic absorption spectrophotometry. Data on soil chemical characteristics and plant mineral concentrations were submitted to analysis of variance, and means were compared by Tukey's test at 5% probability. To analyze soil-plant interactions, multivariate principal component analysis (PC) was used. In this context, the highest concentrations of N and S were observed in leucaena (38.88 and 2.79 g.kg<sup>-1</sup>), and of Ca in juazeiro (27.18 g.kg<sup>-1</sup>), which also stood out in the supply of S (2.72 g.kg<sup>-1</sup>). Saltbush stood out, mainly, in the supply of Na (34.75 g.kg<sup>-1</sup>). Furthermore, the highest concentrations of Cu were identified in forage watermelon (21.65 mg.kg<sup>-1</sup>), and of Zn in pornunça and signalgrass decumbens (69.09 and 62.69 mg.kg<sup>-1</sup>, respectively). About CP1, the highest relationships between the Fe, Zn, K and Mg contents of the soil were observed; base saturation; and the concentrations of Mn, Cu, Na, K, N and Mg of the plants, and, for CP2, the greatest interactions between the contents of Ca, Al and P in the soil were identified; the electrical conductivity of the soil; and the pH of the soil. Thus, the forage species have adequate mineral concentrations to supply the requirements of N, K, Mg, Ca, S, Na, B, Cu, Zn and Mn of ruminants, except for P, and the mineral composition of these forages is determined, above all, by the concentrations of Mn in the plants and Zn, Fe and Mn in the soil.

**Keywords:** soil-plant relationship; ruminants; Caatinga; minerals; mineral nutrition.

## 1. INTRODUÇÃO

As áreas semiáridas caracterizam-se pela distribuição pluviométrica irregular no tempo e no espaço, mas também pelas altas taxas de evapotranspiração, o que influenciam drasticamente tanto na massa quanto na qualidade de forragem (MOREIRA et al., 2006a; ANDRADE et al., 2020). O clima semiárido abrange grande parte do Nordeste brasileiro, com variação pluviométrica de 300 a 1750 mm (ALVARES et al., 2013).

A região semiárida brasileira é marcada por duas estações: a estação chuvosa - representada por um curto período, com chuvas irregulares - e a estação seca - marcada, de forma geral, por um período crítico de estiagem. Nesta estação, as espécies vegetais da Caatinga, bioma exclusivamente brasileiro, expressam a fisionomia mais marcante: a caducifólia (ANDRADE et al., 2020). Esse bioma representa o principal suporte forrageiro para a alimentação de ruminantes (SILVA et al., 2015).

Contudo, em decorrência dessas flutuações anuais referentes à quantidade e à qualidade de forragem, as demandas nutricionais de ruminantes podem não ser integralmente atendidas e, por conseguinte, acarretarem deficiências nutricionais, sobretudo, deficiências minerais, haja vista que raramente as forragens atendem completamente às exigências minerais de ruminantes em pastejo (OLIVEIRA et al., 2015). Nesse sentido, esses animais podem desenvolver quadros de deficiências minerais de leve a grave, com sinais clínicos inespecíficos a característicos (SUTTLE, 2010).

Os minerais são compostos inorgânicos, vitais para os animais e presentes em todos os tecidos e os fluidos celulares, os quais exercem diversas funções essenciais, por exemplo, integram a estrutura tecidual, participam do equilíbrio ácido-básico, da pressão osmótica e da manutenção da permeabilidade da membrana plasmática (SOETAN et al., 2010). Além disso, influenciam direta ou indiretamente no desempenho produtivo e reprodutivo dos animais (SPEARS e WEISS, 2008).

Nesse contexto, as deficiências de minerais estão associadas a baixos níveis de minerais quer no solo quer nas plantas, isto é, há uma íntima relação entre o sistema solo-planta. Assim, as concentrações e as interações desses elementos inorgânicos no solo interferem na absorção e no conteúdo mineral das forrageiras (HAENLEIN e

ANKE, 2011). Ademais, os teores de minerais das plantas que compõem as rações, muitas vezes, são desconhecidos, como também variam com a estação do ano, com a região e com a espécie forrageira (KHAN et al., 2007).

Portanto, em vista do baixo quantitativo de informações referentes ao conteúdo de minerais das forrageiras seja nativa seja exótica do Semiárido brasileiro, associado à necessidade de recursos volumosos para a alimentação de ruminantes em pastejo, objetivou-se avaliar a composição mineral das espécies forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro, como também analisar as interações minerais do sistema solo-planta, nessa região, por meio das concentrações dos minerais tanto do solo quanto das plantas.

## **2.0 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Área experimental**

O experimento desenvolveu-se no Campo Experimental da Caatinga e na área de Caatinga nativa, ambos pertencentes à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Semiárido), localizada no município de Petrolina-PE (09°09' S, 40°22' W, 365,5m (TEIXEIRA, 2010)).

Consoante Alvares et al. (2013), o clima dessa região classifica-se como BSh, em que há um período seco de cerca de nove meses e um período chuvoso, geralmente, concentrado de fevereiro a abril. O solo da área experimental se classifica como argissolo amarelo eutrófico abráptico plintossólico (SANTOS et al., 2018).

### **2.2 Coleta de solo**

Realizou-se a coleta de solo de cinco subáreas, em triplicata, conforme a distribuição espacial das espécies forrageiras em estudo, na profundidade de 0 a 30 cm. Na subárea 1, coletaram-se a gliricidia, a leucena e a erva-sal; na subárea 2, a melancia forrageira, a cunhã e o feijão-guandu; na subárea 3, a pornunça; na subárea 4, o capim-corrente e o capim-braquiária decumbens; e, na subárea 5, as demais forrageiras nativas. Após, essas amostras simples de solo foram homogeneizadas, para compor uma amostra composta para cada subárea, que foram acondicionadas em sacos de plásticos identificados.

### 2.3 Análise química de solo

As amostras de solo foram peneiradas e destoradas manualmente. A mensuração do potencial hidrogeniônico (pH) procedeu-se por meio de eletrodo imerso em uma suspensão solo-líquido (água e KCl), na proporção 1:2,5, ou seja, 10 mg de amostra de solo e 25 ml de solução de KCl. Por sua vez, a acidez potencial (H + Al) foi extraída pelo acetato de cálcio, tamponado a pH 7,0, e quantificada por volumetria, a partir da solução de NaOH, na presença de fenolftaleína.

A Condutividade elétrica (CE) foi determinada por meio de um condutivímetro, sob pressão, após a filtração da amostra de solo. O Alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) foi extraído pela solução KCl ( $1 \text{ mol.L}^{-1}$ ) e determinado por volumetria, com a solução diluída de NaOH. Por sua vez, o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) foram extraídos, por meio da solução KCl ( $1 \text{ mol.L}^{-1}$ ), e determinados por espectrometria de absorção atômica (TEIXEIRA et al., 2017).

A extração do teor total de fósforo (P) realizou-se pela dissolução dos minerais ou pelo deslocamento do P retido nas superfícies sólidas do solo, por meio das soluções extratoras de Mehlich-1 ( $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$  de HCl e  $0,0125 \text{ mol.L}^{-1}$  de  $H_2SO_4$ ) e ácida de molibdato de amônio diluída. Com isso, houve a formação de um complexo fósforo-molibdico de cor azul, obtido a partir da redução do molibdato com ácido ascórbico. A determinação da concentração total de P procedeu-se por espectrofotometria-UV-Vis, na faixa do comprimento de onda de 660 nm (TEIXEIRA et al., 2017).

O potássio (K) e o sódio (Na) trocáveis foram extraídos, por meio da solução de Mehlich-1, e determinados por espectrofotometria de chama. O manganês (Mn) e o ferro (Fe) foram extraídos, com  $H_2SO_4$ , e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. O cobre (Cu) e o zinco (Zn) foram extraídos por uma solução quelante (DTPA) e quantificados por espectrofotometria de absorção atômica, com chama (TEIXEIRA et al., 2017).

A soma de bases (S), que corresponde ao somatório dos teores das bases Ca, Mg, K e Na, foi determinada por meio da fórmula  $S = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+$ , em que S é soma de bases trocáveis, em  $\text{cmol.kg}^{-1}$ ; e  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  e  $K^+$  representam os teores de cálcio, magnésio, sódio e potássio trocáveis no solo, respectivamente, em  $\text{cmol.kg}^{-1}$ .

A capacidade de troca de cátions total (CTC), que representa o total de cargas negativas que o solo pode adsorver, foi determinada pelo somatório de S e acidez potencial (H + Al).

A saturação por bases (V), que representa a proporção da CTC do solo, preenchida por bases trocáveis, foi calculada pela fórmula  $V = (100 * S) / CTC$ , em que V é a percentagem de saturação por bases; S é a soma de bases trocáveis, em  $\text{cmol.kg}^{-1}$ ; e T é a capacidade de troca de cátions total, em  $\text{cmol.kg}^{-1}$ .

O carbono total (C total) foi extraído via combustão da amostra de solo, a 1000 °C, na forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), e determinado por cromatografia gasosa, seguido da detecção por condutividade térmica (TEIXEIRA et al., 2017).

#### 2.4 Coleta das amostras vegetais

No Campo Experimental de Caatinga, coletaram-se as amostras de folhas e ramos, com diâmetro de, no máximo, 5 mm, de 7 espécies forrageiras exóticas, representadas pela leucena (*Leucaena leucocephala* Lam.), pela cunhã (*Clitoria ternatea*), pela gliricídia (*Gliricidia sepium*), pelo capim-corrente (*Urochloa mosambicensis* Hackel. Dandy), pela erva-sal (*Atriplex mummularia*), pelo capim-braquiária decumbens (*Brachiaria decumbens* c.v. Basilisk) e pelo feijão-guandu (*Cajanus cajan* L.) (Figura 4A). Com exceção da melancia forrageira (*Citrullus lanatus* cv. Citroides), em que se coletaram os frutos, nas mesmas quantidades para fins de amostragem (Figura 4C).

Por outro lado, na área de Caatinga nativa, coletaram-se as amostras de folhas e ramos, também com até 5mm de diâmetro, de 11 espécies forrageiras nativas (Figura 4B): maniçoba (*Manihot pseudoglaziovii* Pax. & Hoffm), pornunça (*Manihot* sp.), sabiá (*Mimosa caesapiniifolia* Benth), juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.), umbuzeiro (*Spondia tuberosa* Arruda Cam.), faveleira (*Cnidoscolus phyllacanthus* Muell. Arg. Pax. Et K. Hoffman), catingueira (*Poincianella bracteosa* (Tull.) L. P. Queiroz), aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Fr. All.), jurema-preta (*Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poiret), velame (*Croton heliotropiifolius*) e mororó (*Bauhinia cheilantha* (Bong.) Steud.).



**Figura 2.** Coleta dos ramos, com até 5mm de diâmetro, da gliricídia (A), da aroeira (B) e dos frutos da melancia forrageira (C).

Todas essas coletas realizaram-se aleatório e manualmente, em quatro repetições por espécie, constituída, cada repetição, de uma subamostra de três plantas. Esses materiais foram acondicionados em sacolas de plásticos identificadas.

### 2.5 Preparações das amostras vegetais

Todos os materiais foram pré-secos em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 55 a 60°C, até atingir o peso constante. Posteriormente, esses materiais foram moídos em moinho de facas tipo Willey, com peneira de 1mm, e armazenados em frascos de plástico identificados.

### 2.6 Preparações dos extratos vegetais

Uma alíquota das amostras passou pelo processo de digestão sulfúrica, para extração de nitrogênio (N). Ademais, as outras alíquotas passaram pela digestão nítrico-perclórica, para determinação das concentrações de P, K, Ca, Mg, S, Cu, Fe, Mn, Zn e Na, e pela digestão por via seca - incineração -, para determinação dos teores de boro (B) (MALAVOLTA, 1989).

### 2.7 Análises minerais vegetais

A determinação de P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na realizou-se no Laboratório de Solos e Análise Foliar, e a determinação de N procedeu-se no Laboratório de Nutrição Animal, ambos pertencentes à Embrapa Semiárido.

As concentrações de K e Na foram determinadas por fotometria de chama, com leitura do espectro na faixa de 766,7 nm, para o K, e por curva de calibração, para o Na. Os teores de N foram determinados a partir do método de Kjeldahl, o qual consiste na transformação do nitrogênio amoniacal, presente no sulfato de amônio ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), em amônia (NH<sub>3</sub>), fixada pelo ácido bórico (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) e, posteriormente, titulada com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, até a formação de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, na presença do indicador ácido-básico (MALAVOLTA, 1989). Quanto à determinação dos teores de B, ocorreu por colorimetria de azometina

H, com a formação de um complexo colorido, mediante a reação entre o ácido bórico e o reagente azometina H, com absorção de luz na faixa de 420 nm (MALAVOLTA, 1989; SILVA, 2009).

As concentrações de P e S foram determinadas por colorimetria de metavanadato, com a formação de um composto amarelo do sistema vanadomolibdofosfórico, e turbidimetria de sulfato de bário, com a formação de precipitado de sulfato de bário, a partir do cloreto de bário, respectivamente, com absorção de luz na faixa de 420 nm, para ambos. Ademais, as concentrações de Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica, com lâmpada de cátodo oco do elemento, diretamente do extrato nítrico-perclórico. As leituras correspondentes às concentrações desses elementos procederam-se por curva de calibração (MALAVOLTA, 1989; SILVA, 2009).

## 2.8 Análise estatística

Os dados referentes às características químicas do solo e às concentrações minerais das 19 forrageiras em estudo foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e compararam-se as médias, mediante o teste de Tukey, a 5% de probabilidade, por meio do *software* SAS® OnDemand for Academics. Segue o modelo utilizado para descrever a composição mineral e as características químicas do solo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ijk}$$

Em que  $Y_{ijk}$  é a observação;  $\mu$  é a média da população;  $\alpha_i$  é o efeito da forragem; e  $\varepsilon_{ijk}$  é o erro residual.

Ademais, utilizou-se a análise multivariada de componentes principais, com base na matriz de correlação, para analisar as relações entre as características químicas do solo e a composição de minerais das espécies forrageiras nativas e exóticas em estudo, por meio do programa computacional Genes versão 2015.5.0. Para isso, houve a verificação da normalidade e da homocedasticidade dos dados, por intermédio dos testes de Shapiro Wilk e Levene, respectivamente, pelo *software* SAS® OnDemand for Academics.

### 3.0 RESULTADOS

#### 3.1 Características químicas do solo

De forma geral, as cinco subáreas, onde estavam distribuídas espacialmente as forrageiras, diferiram em praticamente todas as variáveis químicas do solo analisadas ( $P < 0,05$ ), salvo os teores de alumínio trocável ( $Al^{3+}$ ) (Tabela 3).

Na subárea 1, observaram-se maior CE e menor acidez potencial, cujos valores não diferiram das observadas nas subáreas 3 e 4 ( $P > 0,05$ ). Vale acrescentar ainda que, nessa subárea, foram observados altos valores de CTC, que não diferiram das subáreas 3, 4 e 5 ( $P > 0,05$ ) (Tabela 3).

Na subárea 2, verificaram-se os maiores teores de P,  $K^+$  e de acidez potencial, cujos níveis diferiram dos observados das demais subáreas ( $P < 0,05$ ). Ao passo que, nessa subárea, foram identificados os menores teores de  $Ca^{2+}$  e de SB (Tabela 3). Além disso, em relação aos teores de Zn, não diferiram da subárea 4 ( $P > 0,05$ ) (Tabela 3).

No que se refere à subárea 3, foram obtidos os maiores valores de pH e de CTC do solo, como também os maiores teores de C total,  $Ca^{2+}$ , Fe, Mn e Zn. Por outro lado, observaram-se, nessa subárea, os menores teores de P (Tabela 3). Ademais, em relação aos teores de  $Mg^{2+}$  e aos valores de V, não foram observadas diferenças entre essa subárea e a subárea 1 ( $P > 0,05$ ) (Tabela 3).

Na subárea 4, verificaram-se maiores teores de  $Na^+$ , Cu e de SB, que diferiram das demais subáreas ( $P < 0,05$ ), como também foram observados os maiores valores de CTC e V. Vale acrescentar ainda que não foram observadas diferenças entre os valores de V dessa subárea com a subárea 1 ( $P > 0,05$ ) (Tabela 3).

Na subárea 5, foram constatados os maiores teores de  $Mg^{2+}$  e os maiores valores de CTC (Tabela 3). Não se observaram diferenças dos valores de pH e dos teores de  $Na^+$  entre essa subárea e a subárea 1 ( $P > 0,05$ ). Além disso, nessa subárea, verificaram-se os menores valores de CE, C total e Mn, os quais diferiram ( $P < 0,05$ ) dos observados nas demais subáreas (Tabela 3).

**Tabela 3.** Características químicas do solo em relação às áreas onde se encontravam as forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro

Itens	Propriedades químicas do solo																	
	CE	pH	C total	P	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC	V	Cu	Fe	Mn	Zn	
	mS.cm <sup>-1</sup>	-	g.kg <sup>-1</sup>	mg.dm <sup>-3</sup>				cmol.dm <sup>-3</sup>					%	mg.dm <sup>-3</sup>				
Subárea 1	Gliricídia	5,78 A	7,19 C	2,89 D	3,09 D	0,20 B	1,61 B	2,21 D	1,81 B	0,00 A	1,11E <sup>-16</sup> C	5,79 C	5,79 A	99,90 AB	0,30 D	8,39 D	14,80 C	1,31 D
	Leucena	5,78 A	7,19 C	2,89 D	3,09 D	0,20 B	1,61 B	2,21 D	1,81 B	0,00 A	1,11E <sup>-16</sup> C	5,79 C	5,79 A	99,90 AB	0,30 D	8,39 D	14,80 C	1,31 D
	Erva-sal	5,78 A	7,19 C	2,89 D	3,09 D	0,20 B	1,61 B	2,21 D	1,81 B	0,00 A	2,22E <sup>-16</sup> C	5,79 C	5,79 A	99,90 AB	0,39 C	8,39 D	14,80 C	1,31 D
Subárea 2	Cunhã	4,10 D	5,59 D	3,09 B	5,60 A	0,26 A	0,35 D	2,09 E	0,80 D	0,00 A	1,09 A	3,55 E	4,99 B	76,39 D	0,30 D	11,60 B	12,10 D	1,81 B
	Guandu	4,10 D	5,59 D	3,09 B	5,60 A	0,26 A	0,35 D	2,09 E	0,80 D	0,00 A	1,09 A	3,55 E	4,99 B	76,39 D	0,30 D	11,60 B	12,10 D	1,81 B
	Melancia forrageira	4,10 D	5,59 D	3,09 B	5,60 A	0,26 A	0,35 D	2,09 E	0,80 D	0,00 A	1,09 A	3,55 E	4,99 B	76,39 D	0,30 D	11,60 B	12,10 D	1,81 B
Subárea 3	Pornunça	4,25 C	7,95 A	6,53 A	2,73 E	0,21 B	1,21 C	2,92 A	1,81 B	0,00 A	2,22E <sup>-16</sup> C	6,10 B	6,10 A	99,63 B	0,69 B	16,18 A	22,61 A	2,62 A
Subárea 4	Capim-corrente	5,21 B	7,30 B	3,00 C	4,88 B	0,18 CB	1,80 A	2,49 C	1,69 C	0,00 A	1,11E <sup>-18</sup> C	6,18 A	6,18 A	99,98 A	0,79 A	8,69 C	16,40 B	1,90 B
	Capim-braquiária	5,21 B	7,30 B	3,00 C	4,88 B	0,18 CB	1,80 A	2,49 C	1,69 C	0,00 A	1,11E <sup>-18</sup> C	6,18 A	6,18 A	99,98 A	0,79 A	8,69 C	16,40 B	1,90 B
Subárea 5	Catingueira	3,82 E	5,65 D	2,62 E	4,14 C	0,15 C	0,35 D	2,67 B	1,90 A	0,00 A	0,85 B	5,10 D	5,95 A	85,70 C	0,39 C	8,69 C	9,39 E	1,61 C
	Velame	3,82 E	5,65 D	2,62 E	4,14 C	0,15 C	0,35 D	2,67 B	1,90 A	0,00 A	0,85 B	5,10 D	5,95 A	85,70 C	0,39 C	8,69 C	9,39 E	1,61 C
	Aroeira	3,82 E	5,65 D	2,62 E	4,14 C	0,15 C	0,35 D	2,67 B	1,90 A	0,00 A	0,85 B	5,10 D	5,95 A	85,70 C	0,39 C	8,69 C	9,39 E	1,61 C
	Jurema-preta	3,82 E	5,65 D	2,62 E	4,14 C	0,15 C	0,35 D	2,67 B	1,90 A	0,00 A	0,85 B	5,10 D	5,95 A	85,70 C	0,39 C	8,69 C	9,39 E	1,61 C
	Maniçoba	3,82 E	5,65 D	2,62 E	4,14 C	0,15 C	0,35 D	2,67 B	1,90 A	0,00 A	0,85 B	5,10 D	5,95 A	85,70 C	0,39 C	8,69 C	9,39 E	1,61 C
	Mororó	3,82 E	5,65 D	2,62 E	4,14 C	0,15 C	0,35 D	2,67 B	1,90 A	0,00 A	0,85 B	5,10 D	5,95 A	85,70 C	0,39 C	8,69 C	9,39 E	1,61 C
	Sabiá	3,82 E	5,65 D	2,62 E	4,14 C	0,15 C	0,35 D	2,67 B	1,90 A	0,00 A	0,85 B	5,10 D	5,95 A	85,70 C	0,39 C	8,69 C	9,39 E	1,61 C
	Umbuzeiro	3,82 E	5,65 D	2,62 E	4,14 C	0,15 C	0,35 D	2,67 B	1,90 A	0,00 A	0,85 B	5,10 D	5,95 A	85,70 C	0,39 C	8,69 C	9,39 E	1,61 C
	Faveleira	3,82 E	5,65 D	2,62 E	4,14 C	0,15 C	0,35 D	2,67 B	1,90 A	0,00 A	0,85 B	5,10 D	5,95 A	85,70 C	0,39 C	8,69 C	9,39 E	1,61 C
Juazeiro	3,82 E	5,65 D	2,62 E	4,14 C	0,15 C	0,35 D	2,67 B	1,90 A	0,00 A	0,85 B	5,10 D	5,95 A	85,70 C	0,39 C	8,69 C	9,39 E	1,61 C	

CE - Condutividade Elétrica; pH - potencial hidrogeniônico; C total - Carbono total; H+Al – Acidez potencial; SB – Saturação de Bases; CTC - Capacidade de Troca de Cátions; e V – Saturação de bases.

### 3.2 Composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido Brasileiro

De forma geral, as concentrações dos minerais das 19 espécies forrageiras nativas e exóticas analisadas diferiram entre si ( $P < 0,05$ ). Verificaram-se concentrações de N entre 15,21 a 38,88 g.kg<sup>-1</sup>; de P entre 0,74 a 3,29 g.kg<sup>-1</sup>; de K entre 5,39 a 14,30 g.kg<sup>-1</sup>; de Ca entre 2,61 a 27,18 g.kg<sup>-1</sup>; de Mg entre 0,21 a 5,34 g.kg<sup>-1</sup>; de S entre 0,08 a 2,79 g.kg<sup>-1</sup>; de Na entre 0,03 a 34,75 g.kg<sup>-1</sup>; de B entre 43,22 a 145,00 mg.kg<sup>-1</sup>; de Cu entre 2,34 a 21,65 mg.kg<sup>-1</sup>; de Fe entre 15,64 a 375,03 mg.kg<sup>-1</sup>; de Mn entre 15,12 a 171,73 mg.kg<sup>-1</sup>; e de Zn entre 15,10 a 69,09 mg.kg<sup>-1</sup> (Tabela 4).

As maiores concentrações de N foram observadas na leucena, na pornunça, no capim-braquiária e na maniçoba, cujos teores não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ). Por outro lado, os menores teores de N foram identificados na aroeira, no umbuzeiro, na erva-sal, na melancia forrageira, no sabiá, no mororó e no capim-corrente, que também não diferiram entre si ( $P > 0,05$ ) (Tabela 4). Vale acrescentar ainda que a maniçoba não diferiu da jurema-preta e da gliricídia, tampouco da pornunça, bem como a jurema-preta não diferiu da catingueira, do velame, da faveleira, do juazeiro, da cunhã e do feijão-guandu ( $P > 0,05$ ) (Tabela 4).

O velame e o capim-braquiária apresentaram as maiores concentrações de P, os quais não diferiram ( $P > 0,05$ ). Por outro lado, as mais baixas concentrações de P foram identificadas no umbuzeiro, cujas concentrações não diferiram das observadas no mororó, na aroeira e na erva-sal ( $P > 0,05$ ) (Tabela 4). Além disso, não se observaram diferenças entre os níveis de P do capim-corrente, da gliricídia, do juazeiro, da faveleira, do sabiá, da jurema-preta e da catingueira, tampouco entre os da pornunça, da leucena e da maniçoba ( $P > 0,05$ ). Vale adicionar ainda que as concentrações de P da maniçoba e da melancia forrageira não diferiram entre si, como também os teores de P da melancia forrageira não diferiram dos observados na gliricídia, na cunhã, na jurema-preta e na catingueira ( $P > 0,05$ ) (Tabela 4).

O juazeiro apresentou a maior concentração de Ca, o qual diferiu de todas as outras forrageiras ( $P < 0,05$ ). Não se verificaram diferenças dos níveis de Ca identificados na gliricídia, na leucena, na faveleira, no umbuzeiro, no sabiá, no velame, na pornunça e na catingueira ( $P > 0,05$ ). Ademais, as mais baixas concentrações de Ca foram constatadas na jurema preta, na melancia forrageira e na maniçoba. Os teores de Ca dessas duas últimas forrageiras não diferiram dos obtidos no capim-corrente ( $P > 0,05$ ) (Tabela 4).

**Tabela 4.** Composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro

Itens	Elementos minerais											
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/kg							mg/kg				
Catingueira	23,53 EFG	1,51 FGH	6,45 DE	15,04 BC	0,83 H	1,05 CD	0,09 C	141,75 ABC	11,50 FG	107,16 BCDEF	27,24 FG	26,26 DEF
Pornunça	36,76 AB	2,19D	6,90 CDE	14,27 BCD	4,07 BC	0,87 DEF	0,09 C	144,00 AB	14,96 CD	129,66 BCDE	116,48 B	69,09 A
Velame	25,28 EF	3,28 A	10,57 ABC	13,93 BCD	4,24 B	1,16 CD	10,80 B	141,75 ABC	10,40 FGH	364,18 A	171,73 A	25,88 DEF
Aroeira	17,6 H	0,95 JIK	5,62 E	11,43 DE	3,16 CDE	0,36 GH	0,13 C	145,00 A	9,77, FGH	78,50 CDEFG	26,66 FG	16,27 GH
Jurema- preta	28,35 CDE	1,35 FGHI	5,70 E	2,61 I	0,28 H	0,13 H	0,03 C	133,00 FGH	2,34 K	67,13 EFG	15,43 G	17,03 GH
Maniçoba	33,43 ABC	2,10 DE	5,39 E	2,87 HI	0,21 H	0,08H	0,03 C	134,50 EFG	3,09 JK	15,64 G	15,12 G	22,96 EFG
Mororó	18,08 GH	0,90 JK	13,60 A	10,43 EF	2,53 DEFG	0,38 GH	0,13 C	135,75 DEFG	4,03 JIK	166,92 B	54,03 DEF	22,90 EFG
Sabiá	20,87 FGH	1,15 HIJK	12,26 AB	14,19 BCD	2,12 FG	0,47FGH	0,11 C	136,50 DEF	5,01 JI	72,46 DEFG	85,59 C	15,10 H
Umbuzeiro	15,21 H	0,74 K	7,30 CDE	14,81 BCD	2,17 FG	0,35 GH	0,13 C	137,50 DEFG	8,71 H	122,89 BCDE	49,90 EF	19,79 FGH
Faveleira	23,31 EFG	1,27 GHIJ	6,20 DE	17,32 B	3,24 CD	0,64 EFG	0,13 C	139,50 BCD	10,25 FGH	142,05 BC	117,09 B	26,96 DE
Juazeiro	26,4 DEF	1,27 GHIJ	7,80 CDE	27,18 A	2,56 DEFG	2,72 A	0,15 C	139,25 CDEF	12,17 EF	132,61 BCD	94,04 BC	34,95 C
Erva-sal	17,41 H	1,08 JIK	12,15 AB	11,65 CDE	5,32 A	2,22 B	34,75 A	143,75 AB	13,08 DE	119,26 BCDE	78,86 CD	21,58 EFGH
Cunhã	23,48 EFG	1,59 FG	6,75 DE	7,56 FG	4,25 B	0,54 EFG	0,08 C	129,50 H	9,26 GH	99,57 CDEF	18,04 G	23,94 DEF
Guandu	26,06 EF	2,69 BC	7,30 CDE	6,83 G	2,25 EFG	0,38 GH	0,06 C	131,25 GH	8,71 H	95,95 CDEF	34,37 FG	26,65 DE
Gliricídia	31,84 BCD	1,55 FGH	6,92 CDE	15,84 B	4,46 AB	1,28 C	0,11 C	131,25 GH	5,99 I	93,52 CDEF	39,93 FG	25,22 DEF
Leucena	38,88 A	2,40 CD	9,60 BCD	15,42 B	3,15 CDE	2,79 A	0,11 C	144,75 A	16,69 BC	103,39 BCDEF	36,51 FG	25,75 DEF
Melancia forrageira	18,4 GH	1,75 EF	14,30 A	2,83 HI	2,96 DEF	0,88 CDE	0,45 C	43,22 J	21,65 A	48,91 FG	32,05 FG	61,81 B
Capim- corrente	16,76 H	1,17 GHIJ	13,87 A	6,18 GH	1,95 G	0,35 GH	0,31 C	141,75 ABC	9,46 GH	119,94 BCDE	145,76 A	30,54 CD
Capim- braquiária	36,24 AB	3,03 AB	12,65 AB	11,73 CDE	5,34 A	1,87 B	0,64 C	54,78 I	17,65 B	375,03 A	73,33 CDE	62,69 AB

As maiores concentrações de K foram verificadas na melancia forrageira, no capim-corrente, no mororó, no sabiá, na erva-sal, no velame e no capim-braquiária, as quais não diferiram entre si ( $P>0,05$ ) (Tabela 4). Além disso, não se observaram diferenças entre os teores de K do velame, da pornunça, do juazeiro, do feijão-guandu, da gliricídia e da leucena. As menores concentrações de K foram identificadas na aroeira, na jurema-preta e na maniçoba, as quais não diferiram das concentrações de K da catingueira, da pornunça, do umbuzeiro, da faveleira, do juazeiro, da cunhã, do feijão-guandu, da leucena e da gliricídia ( $P>0,05$ ).

No capim-braquiária, na erva-sal e na gliricidia, verificaram-se as mais altas concentrações de Mg, que não diferiram entre si ( $P>0,05$ ). Além disso, os níveis de Mg da gliricídia não diferiram dos observados na cunhã, no velame e na pornunça ( $P>0,05$ ). As mais baixas concentrações de Mg foram identificadas na maniçoba, na jurema-preta e na catingueira, as quais diferiram dos níveis de Mg de todas as demais forrageiras ( $P<0,05$ ) (Tabela 4). Vale adicionar ainda que não foram verificadas diferenças entre os teores de Mg da leucena, da melancia forrageira, do feijão-guandu, do juazeiro, do mororó e da aroeira, tampouco entre os do capim-corrente, do feijão-guandu, do juazeiro, do sabiá, do umbuzeiro e do mororó ( $P>0,05$ ) (Tabela 4).

A leucena e o juazeiro apresentaram as maiores concentrações de S, as quais diferiram de todas as outras forrageiras ( $P<0,05$ ). Por outro lado, os mais baixos teores de S foram identificados na jurema-preta e na maniçoba, os quais não diferiram dos observados na aroeira, no mororó, no sabiá, no umbuzeiro, no feijão-guandu e no capim corrente ( $P>0,05$ ) (Tabela 4). Ademais, não foram observadas diferenças entre os níveis de S da erva-sal e do capim-braquiária, nem entre os da catingueira, do velame, da gliricídia e da melancia forrageira ( $P>0,05$ ). Vale acrescentar ainda que não se verificaram diferenças ( $P>0,05$ ) entre as concentrações de S da pornunça, da faveleira, do sabiá e da cunhã (Tabela 4).

A erva-sal apresentou a maior concentração de Na, a qual diferiu de todas as forrageiras ( $P<0,05$ ). Por outro lado, os mais baixos teores de Na foram encontrados, com exceção da erva-sal e do velame, nas demais forrageiras, que não diferiram entre si ( $P>0,05$ ) (Tabela 4).

As mais altas concentrações de B foram observadas na aroeira, na leucena, na pornunça, na erva-sal, na catingueira, no velame e no capim-corrente, cujos teores não

diferiram entre si ( $P>0,05$ ). Por outro lado, as menores concentrações de B foram observadas na melancia forrageira e no capim-braquiária, cujas concentrações diferiram entre si e em relação às verificadas nas demais forrageiras ( $P<0,05$ ) (Tabela 4).

Ademais, não se identificaram diferenças dos níveis de B da jurema-preta, da maniçoba, do mororó, do sabiá, do umbuzeiro, da gliricídia e do feijão-guandu, tampouco diferiram os da cunhã, da gliricídia, do feijão-guandu e da jurema-preta ( $P>0,05$ ) (Tabela 4). Vale acrescentar que as concentrações de B da faveleira não diferiram das observadas no juazeiro, no sabiá, no mororó, no juazeiro, na catingueira, na pornunça, no velame, na erva-sal e no capim-corrente ( $P>0,05$ ).

A melancia forrageira apresentou a maior concentração de Cu, a qual diferiu das observadas em todas as demais forrageiras ( $P<0,05$ ). Ao passo que os menores teores de Cu foram identificados na jurema-preta, na maniçoba e no mororó (Tabela 4). Não foram verificadas diferenças entre os níveis de Cu da catingueira, do velame, da aroeira, da faveleira, da cunhã e do capim-corrente, nem entre os do umbuzeiro, do feijão-guandu, da faveleira, do velame, da aroeira, da cunhã e do capim-corrente ( $P>0,05$ ). Vale acrescentar que os teores de Cu da gliricídia não diferiram dos observados no mororó e no sabiá, como também os níveis de Cu da erva-sal não diferiram da pornunça e do juazeiro ( $P>0,05$ ) (Tabela 4).

Os mais altos teores de Fe foram constatados no capim-braquiária e no velame, cujas concentrações diferiram das verificadas para as demais forrageiras ( $P<0,05$ ) (Tabela 4). Ao passo que os menores níveis de Fe foram observados na maniçoba, cujos teores não diferiram dos observados para aroeira, jurema-preta, sabiá e melancia forrageira ( $P>0,05$ ). Além disso, não foram encontradas diferenças entre as concentrações de Fe da catingueira, da pornunça, da aroeira, da jurema-preta, do sabiá, do umbuzeiro, da erva-sal, da cunhã, da gliricídia, da leucena, do feijão-guandu e do capim-corrente, tampouco entre as da faveleira, do juazeiro, do capim-corrente, do umbuzeiro, da pornunça e da catingueira ( $P>0,05$ ) (Tabela 4).

O velame e o capim-corrente apresentaram as maiores concentrações de Mn, as quais diferiram das observadas nas demais forrageiras ( $P<0,05$ ) (Tabela 4). Ao passo que os menores níveis de Mn foram encontrados na jurema-preta, no velame e na cunhã, cujas concentrações não diferiram das obtidas para catingueira, aroeira, feijão-guandu, gliricídia, leucena e melancia forrageira ( $P<0,05$ ). Vale adicionar ainda que os teores de

Mn do juazeiro não diferiram dos identificados na faveleira, na erva-sal e na pornunça, tampouco diferiram dos níveis de Mn do umbuzeiro, da catingueira, da aroeira, do mororó, do feijão-guandu, da gliricídia, da leucena e da melancia forrageira ( $P>0,05$ ) (Tabela 4).

As maiores concentrações de Zn foram observadas na pornunça, cujos teores diferiram dos obtidos pelas demais forrageiras ( $P<0,05$ ) (Tabela 4). Por outro lado, os níveis mais baixos de Zn foram encontrados no sabiá, cujas concentrações não diferiram das constatadas pelo umbuzeiro, pela aroeira e pela erva-sal ( $P>0,05$ ) (Tabela 4). Não observaram diferenças dos níveis de Zn da catingueira, do velame, da maniçoba, do mororó, da faveleira, da erva-sal, do feijão-guandu, da gliricídia e da leucena, nem entre os do capim-corrente e do juazeiro ( $P>0,05$ ). Os teores de Zn da melancia forrageira diferiram dos observados para as demais forrageiras ( $P<0,05$ ).

### 3.3 Relações entre as características químicas do solo e a composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro

Como os componentes principais 1 e 2 conseguiram explicar cumulativamente mais de 50% das variações das características químicas do solo e da composição mineral das espécies forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro (Tabela 5), utilizaram-se apenas esses dois componentes para descrever os comportamentos das variáveis em estudo.

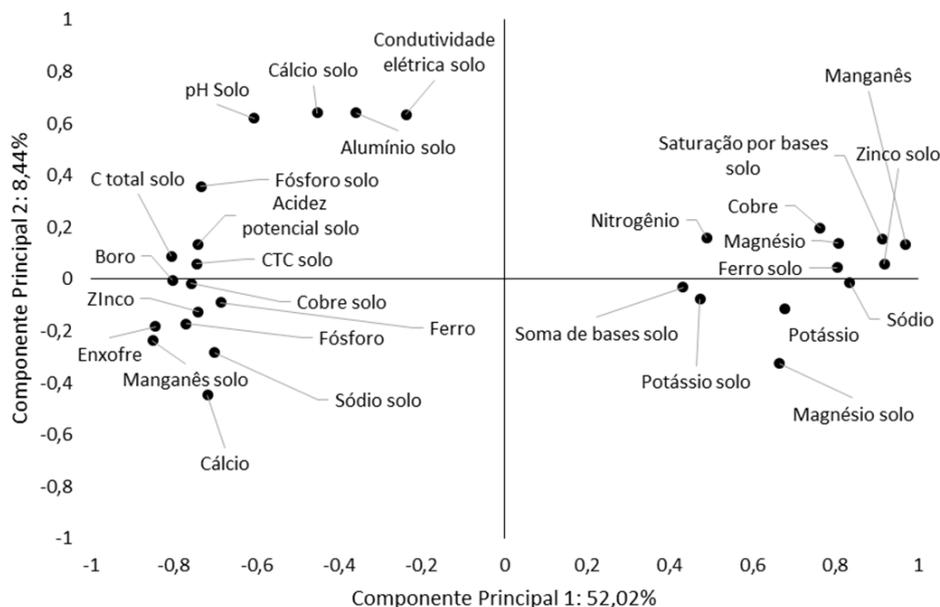
**Tabela 5.** Estimativa de autovalores associados aos teores minerais do solo e das plantas nativas e exóticas do Semiárido brasileiro

Componente principal (PC)	Autovalores	Proporção de variação (%)	Proporção acumulada (%)
PC1	15,08	52,02	52,02
PC2	2,44	8,44	60,47
PC3	2,01	6,94	67,41
PC4	1,77	6,13	73,55
PC5	1,51	5,22	78,77
PC6	1,11	3,85	82,63
PC7	0,98	3,37	86,00
PC8	0,78	2,70	88,70
PC9	0,73	2,52	91,22
PC10	0,53	1,81	93,04

Para o CP1, observaram-se maiores interações entre os teores de Fe, Zn, K e Mg do solo; a saturação por bases (V); e as concentrações de Mn, Cu, Na, K, N e Mg das

plantas (Figura 3). Esses maiores escores obtidos provavelmente estão associados às altas correlações positivas dos teores de Fe do solo com as concentrações de N ( $r=0,8018$ ), Mn ( $r=0,7803$ ) e Na ( $r=0,738$ ) das plantas; bem como às altas correlações positivas dos teores de Zn do solo com a V ( $r=0,9343$ ) e as concentrações de Mn ( $r=0,9039$ ), K ( $r=0,8202$ ), Mg ( $r=0,7834$ ), Na ( $r=0,7631$ ) e Cu ( $r=0,7438$ ) das plantas. Além disso, observaram-se correlações altas e positivas entre a V com as concentrações de Cu ( $r=0,8121$ ) e Na ( $r=0,7497$ ) das plantas, bem como identificaram-se correlações altas e positivas entre as concentrações de Mn das plantas e as concentrações de Cu ( $r=0,8304$ ) e Na ( $r=0,7516$ ) das plantas.

Vale acrescentar ainda que foram observadas correlações negativas e altas dos teores de Zn do solo com as concentrações de P ( $r=-0,71$ ), S ( $r=-0,779$ ), B ( $r=-0,738$ ) e Zn ( $r=-0,7$ ) das plantas, mas também com os teores de carbono total do solo ( $r=-0,7166$ ) e de Mn do solo ( $r=-0,809$ ). Verificaram-se, ainda, correlações altas e negativas entre as concentrações de K da planta e os teores de carbono total do solo ( $r=-0,7161$ ) e entre a V e as concentrações de S ( $r=-0,796$ ), B ( $r=-0,749$ ), P ( $r=-0,722$ ), Zn ( $r=-0,716$ ) das plantas e a CTC do solo ( $r=-0,711$ ). Essas relações altas e negativas contribuíram para obtenção de escores inferiores para essas variáveis em relação ao CP1 (Figura 3).



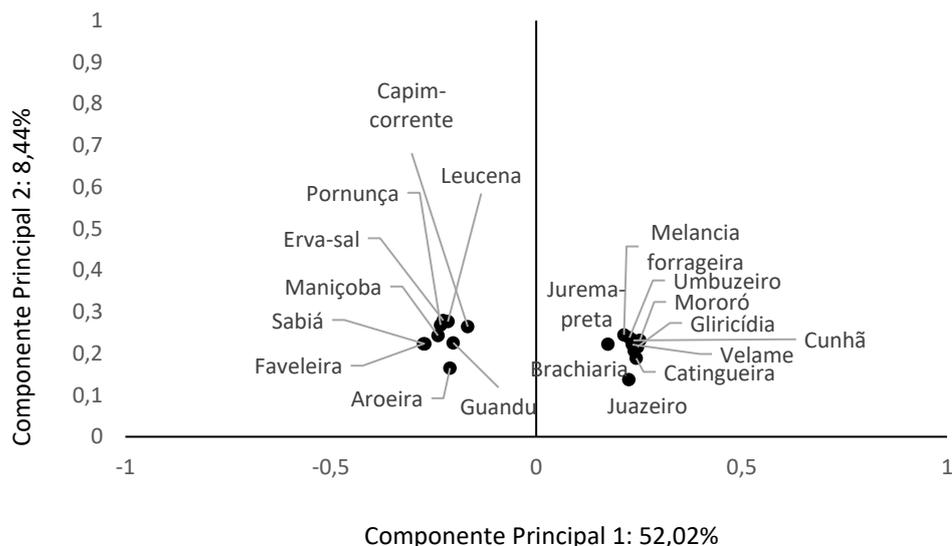
**Figura 3.** Análise de componentes principais das características químicas do solo e do conteúdo mineral das onze forrageiras nativas e das oito exóticas do Semiárido brasileiro.

No que se refere ao CP2, verificaram-se interações mais intensas entre os teores de Ca, Al e P do solo; condutividade elétrica (CE); e pH do solo (Figura 3). Esses maiores escores podem estar relacionados às altas correlações positivas dos teores de Ca do solo com o pH do solo ( $r=0,7043$ ), mas também às altas correlações positivas dos teores de P do solo com a CTC do solo ( $r=0,7107$ ).

Ademais, foram verificadas altas correlações negativas dos teores de carbono total do solo com as concentrações de K ( $r=-0,734$ ), Mg ( $r=-0,873$ ), Na ( $r=-0,767$ ) e Mn ( $r=-0,7$ ) das plantas; bem como com os teores de Zn do solo ( $r=-0,7166$ ). Observaram-se altas correlações positivas entre as concentrações de Mn das plantas com os teores de Zn do solo ( $r=0,9039$ ) e com as concentrações de Mg ( $r=0,7669$ ) e Na ( $r=0,7593$ ) das plantas, bem como foram obtidas correlações altas e positivas entre as concentrações de Mg e K das plantas ( $r=0,7042$ ).

Observaram-se correlações altas e positivas entre as concentrações de Mn das plantas e as de Cu ( $r=0,8304$ ), Mg ( $r=0,7669$ ) e Na ( $r=0,7516$ ) das plantas, como também correlações altas e negativas com as de S ( $r=-0,841$ ), B ( $r=-0,793$ ), P ( $r=-0,769$ ), Ca ( $r=-0,726$ ) e Zn ( $r=-0,76$ ) das plantas. Além disso, verificaram-se correlações negativas das concentrações de S com as de Mg das plantas ( $r=-0,716$ ) e correlações positivas com as concentrações de P ( $r=0,7854$ ) e Na das plantas ( $r=0,7079$ ). Ao passo que, foram identificadas correlações negativas e altas entre as concentrações de Cu das plantas e as concentrações de Mn das plantas ( $r=-0,748$ ) e a V ( $r=-0,73$ ).

As forrageiras nativas e exóticas foram agrupadas em dois grupos, de acordo com os CPs que melhor descrevessem as relações das concentrações dos minerais dessas plantas. Em relação ao CP1, observou-se uma relação estreita entre jurema-preta, melancia forrageira, umbuzeiro, velame, cunhã, mororó, gliricídia, capim-braquiária, catingueira e juazeiro (Figura 4). Ao passo que, para o CP2, constatou-se uma relação próxima entre maniçoba, pornunça, erva-sal, capim-corrente, aroeira, leucena, sabiá, faveleira e feijão-guandu (Figura 4).



**Figura 4.** Análise dos componentes principais das espécies forrageiras exóticas e nativas do Semiárido brasileiro.

## 4.0 DISCUSSÃO

### 4.1 Características químicas do solo

De forma geral, as subáreas apresentaram baixos teores de P ( $[P] < 10 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), segundo Pereira (2012), e de C total ( $[C \text{ total}] \leq 9,3 \text{ g.k}^{-1}$ ), consoante Menezes et al. (2012) (Tabela 3), o que representa aspectos característicos da maioria dos solos do Semiárido (GAMA e JESUS, 2020). Esses resultados demonstram que os solos do Semiárido apresentam baixas concentrações de P nas formas lábeis e pouco lábeis, o que limita a produtividade das forrageiras (SANTOS et al., 2002).

A acidez ativa foi considerada fraca ( $5,6 \leq \text{pH} \leq 6,5$ ) para as subáreas 2 e 5. Ao passo que, para as demais subáreas, foram identificados valores de pH superior a 7, ou seja, solos alcalinos. Nessa perspectiva, pH superior a 6,5 podem interferir na disponibilidade dos micronutrientes, em especial de Zn, Cu, Fe e Mn (PREZOTTI e GUARÇONI, 2013), contudo essa regra não foi, necessariamente, observada, uma vez que se verificaram, em áreas com pH superior a 6,5, concentrações de Zn, Cu, Fe e Mn superiores às observadas nas áreas com pH entre 5,6 e 6,5 (Tabela 3). Além disso, as concentrações desses microminerais das forrageiras que se encontravam nas subáreas com pH superior a 6,5 não foram inferiores às encontradas nas subáreas com pH entre 5,6 e 6,5 (Tabela 4).

Como, em todas as subáreas, o pH do solo foi superior a 5,5, não se observou a presença de alumínio na forma trocável ( $\text{Al}^{3+}$ ) (Tabela 3), cujos teores limitam o desenvolvimento do sistema radicular das plantas, bem como limitam a produtividade

das forrageiras (SANTOS et al., 2002). Esses resultados sugerem a predominância do alumínio na forma insolúvel de  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , verificado em pH superior a 5,5 (PREZOTTI e GUARÇONI, 2013), por isso foram obtidas concentrações de  $\text{Al}^{3+}$  (acidez trocável) nulas (Tabela 3).

Ainda que tenha havido diferenças na acidez potencial ou total ( $\text{H}+\text{Al}$ ) entre as áreas experimentais ( $P < 0,05$ ), esses níveis de  $\text{H}+\text{Al}$  foram considerados baixos ( $\text{H}+\text{Al} < 2,5 \text{ cmol.dm}^{-3}$ ), segundo Prezotti e Guarçoni (2013), para todas as subáreas (Tabela 3). Isso indica que houve baixa adsorção de prótons  $\text{H}^+$  e de  $\text{Al}^{3+}$  pelas cargas negativas das superfícies dos coloides do solo.

A SB foi considerada média, para a subárea 2 ( $2 \leq \text{SB} \leq 5 \text{ cmol.dm}^{-3}$ ), onde se encontravam a melancia forrageira, a cunhã e o feijão-guandu, e alta, para as demais subáreas ( $\text{SB} > 5 \text{ cmol.dm}^{-3}$ ), conforme Prezotti e Guarçoni (2013) (Tabela 3). Esses resultados sugerem a presença de cátions básicos, como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , em concentrações moderadas no solo.

Embora tenha havido diferenças em relação à CTC do solo entre as áreas experimentais ( $P < 0,05$ ), a CTC foi considerada média ( $4,5 \leq \text{CTC} \leq 10 \text{ cmol.dm}^{-3}$ ) em todas essas áreas, consoante Prezotti e Guarçoni (2013). Esses resultados sugerem que as cargas negativas se encontravam saturadas, sobretudo, por cátions básicos, como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , bem como sugerem uma capacidade tampão intermediária do solo, ou seja, para alterar o pH do solo, seriam necessárias quantidades medianas de calcário.

Como a proporção de  $\text{Na}^+$ , em relação à CTC do solo, foi superior a 5%, consoante Prezotti e Guarçoni (2013) (Tabela 3), parte das cargas negativas que deveria adsorver  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  encontravam-se saturadas por  $\text{Na}^+$ , o que pode acarretar a perda de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$  via lixiviação. Nesse contexto, essa maior participação de  $\text{Na}^+$  no solo, provavelmente, contribuiu para os acréscimos dos valores de CE observados (Tabela 3), apesar de não ter havido interações entre essas variáveis (Figura 3). Além disso, os valores de CE foram influenciados pelo pH do solo, uma vez que se observou correlação positiva e moderada entre esses parâmetros (Figura 3).

A V foi considerada alta para todas as áreas experimentais ( $V > 70\%$ ), conforme Prezotti e Guarçoni (2013), e classificou o solo dessas áreas em eutrófico ( $V \geq 50\%$ ), o que sugere que a maioria das cargas negativas das superfícies dos coloides se encontrava saturada por cátions, como  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  (RONQUIN, 2020). Esses

resultados da V ratificam a classificação dos solos de Petrolina como eutróficos (SANTOS et al., 2018).

Os níveis de  $\text{Ca}^{2+}$  foram considerados medianos ( $1,5 \leq [\text{Ca}^{2+}] \leq 4 \text{ cmol.dm}^{-3}$ ), e os de  $\text{Mg}^{2+}$ , altos ( $[\text{Mg}^{2+}] > 1 \text{ cmol.dm}^{-3}$ ), com exceção da subárea 2 (Tabela 3), consoante Prezotti e Guarçoni (2013). Esses resultados estão relacionados à baixa acidez potencial e à baixa acidez ativa do solo, uma vez que essas variáveis interferem tanto na quantidade de cargas negativas dos colóides do solo quanto na adsorção de cátions básicos. Dessa forma, houve aumento da disponibilidade de  $\text{Ca}^{2+}$  e de  $\text{Mg}^{2+}$  às plantas, em decorrência da redução da acidez do solo (Tabela 3).

Apesar de os solos de regiões tropicais, comumente, apresentarem baixas concentrações de  $\text{K}^+$ , ou seja, teores inferiores a  $0,15 \text{ cmol.dm}^{-3}$  (BERNARDI et al., 2012), verificaram-se teores de  $\text{K}^+$  superiores a esse nas áreas experimentais, salvo para a subárea 5, onde se encontravam as forrageiras nativas (Tabela 3). Esses teores de  $\text{K}^+$  igual ou superior a  $0,15 \text{ cmol.dm}^{-3}$  contribuíram para o maior acúmulo desse mineral nas forrageiras de forma geral (Tabela 4).

Conquanto os teores de Cu e Fe tenham sido considerados baixos para todas as áreas experimentais ( $[\text{Cu}] < 0,8 \text{ mg.dm}^{-3}$  e  $[\text{Fe}] < 20 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), observaram-se altas concentrações desses elementos nas forrageiras em estudo, de forma geral (Tabela 4). Quanto aos níveis de Mn e Zn, consideraram-nos, respectivamente, altos e médios ( $[\text{Mn}] > 12 \text{ mg.dm}^{-3}$  e  $1 \leq [\text{Zn}] \leq 2,2 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), com exceção das subáreas 5 e 3, respectivamente (Tabela 3), segundo Prezotti e Guarçoni (2013). Esses altos níveis de Mn no solo favoreceram o maior acúmulo desse elemento nas forrageiras (Tabela 4). Nessa linha, o maior teor de Zn, observado na subárea 3 ( $[\text{Zn}] > 2,2 \text{ mg.dm}^{-3}$ ), provavelmente, foi o responsável pela alta concentração desse mineral encontrado na pornunça (Tabela 4).

#### **4.2 Composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro**

A leucena apresentou as mais altas concentrações de N e de S dentre as leguminosas, o que se deve, provavelmente, aos maiores teores de proteína bruta (PB) presentes nessa leguminosa, que representa cerca de 20% de PB e de 35% de PB, nas folhas jovens (DRUMOND e RIBASKI, 2010). Esses achados sugerem que os perfis de aminoácidos que integram as estruturas primárias das proteínas da leucena contêm

maior proporção de aminoácidos sulfurados do que as demais forrageiras, os quais são primordiais para a síntese de proteína microbiana.

As concentrações de N da catingueira e da jurema-preta foram bastante similares às observadas por Pereira (2012) (22 g.kg<sup>-1</sup> e 27,1 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 4). Ademais, esses autores também não constataram diferenças nas concentrações de N entre essas forrageiras. Entretanto, as concentrações de N do mororó foram inferiores às verificadas por esse mesmo autor (25,60 g.kg<sup>-1</sup>) (Tabela 4).

As forrageiras que apresentaram as menores concentrações de N também apresentaram menores teores de S, com exceção da erva-sal (Tabela 4). Esses resultados sugerem que a aroeira, o capim-corrente e o umbuzeiro apresentaram menores proporções de aminoácidos sulfurados nas estruturas primárias das proteínas. Ao passo que, a erva-sal, embora tenha apresentado menores concentrações de N, apresentou altas concentrações de S, o que indica, possivelmente, que há maior participação dos aminoácidos sulfurados nas estruturas primárias das proteínas dessa forrageira.

As concentrações de N e de S observadas para a aroeira e para o umbuzeiro foram inferiores às identificadas por Medeiros et al. (2008) (24,00 g.kg<sup>-1</sup> e 29,00 g.kg<sup>-1</sup>; 1,40 g.kg<sup>-1</sup> e 2,40 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente), no Semiárido paraibano (Tabela 4). Essas variações devem-se, principalmente, aos teores desses minerais disponíveis no solo (PEDREIRA e BERCHIELLI, 2006), bem como às relações do sistema solo-planta, conforme verificado (Figura 3).

Os altos níveis de N, P e K obtidos para o capim-braquiária devem-se, provavelmente, à alta exigência desses minerais por essa gramínea, uma vez que esses elementos desempenham processos essenciais no metabolismo dessa forrageira, por exemplo, síntese de compostos orgânicos, uso eficiente da água, reações enzimáticas, translocação de carboidratos, formação de perfilhos e sementes, tamanho e número de folhas e de colmos, intensidade de florescimento (COSTA, 2004). Além disso, devem-se aos níveis desses macrominerais no solo (Tabela 3), o que se traduziu em elevadas concentrações de N, P e K na composição estrutural do capim-braquiária, como verificado neste trabalho (Tabela 4).

A pornunça e a maniçoba apresentaram concentrações muito similares de N, P, K e Na (Tabela 4), o que salienta o potencial substitutivo de uma forrageira em relação à outra. Essa similaridade possivelmente está associada ao padrão genético, uma vez que

a pornunça é o produto do cruzamento da maniçoba com a mandioca, ou seja, é um híbrido (F1) que reúne, geralmente, as melhores características dos genitores.

Vale salientar ainda que os níveis de P, K, Ca e Mg da maniçoba foram superiores aos observados por Ferreira et al. (2009), no Semiárido, sob duas podas (1,50 a 1,70 g.kg<sup>-1</sup>; 4,10 a 5,30 g.kg<sup>-1</sup>; 12,8 a 13,5 g.kg<sup>-1</sup>; e 3,6 a 3,9 g.kg<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 4). Por outro lado, as concentrações de P, K, Ca e Mg da pornunça foram superiores, iguais e muito inferiores, respectivamente, às observadas por esses mesmos autores (1,80 g.kg<sup>-1</sup>; 5,00 a 6,50 g.kg<sup>-1</sup>; 9,70 a 12,20 g.kg<sup>-1</sup>; e 3,30 a 3,70 g.kg<sup>-1</sup>) (Tabela 4). Essas variações decorrem, sobretudo, dos teores desses minerais disponíveis no solo (PEDREIRA e BERCHIELLI, 2006) e das interações do sistema solo-planta, conforme observado (Figura 3).

Todas as forrageiras em estudo apresentaram concentrações de P insuficientes ao atendimento das exigências desse mineral para ovinos (5,1 a 7,3 g/kg de ganho de PC), caprinos (6,5 g/kg de ganho de PC) e bovinos (6,3 a 8,8 g/kg de ganho de PC), conforme NRC (2007), AFRC (1991) e AFRC (1998), respectivamente (Tabela 4). Essas baixas concentrações de P das forrageiras estão diretamente associados aos baixos teores de P obtidos no solo (Tabela 3) e à dinâmica do P com outros minerais presentes na solução e na superfície dos colóides do solo (Figura 3). Nesse sentido, esses resultados ressaltam a importância da complementaridade dos recursos forrageiros nativos e exóticos para o atendimento das exigências de P para as diversas categorias e espécies de ruminantes.

Vale reforçar ainda que a maioria das forrageiras apresentou teores de P inferiores às necessidades de P para manutenção de caprinos leiteiros de 50 kg de PC (2,10 g/dia), de acordo com AFRC (1993). Nesse contexto, somente o velame e o capim-braquiária apresentaram concentrações de P suficientes ao atendimento das exigências de manutenção para essa mesma categoria animal, com, no máximo, 90 kg de PC (2,80 g/dia), conforme AFRC (1993). Esses resultados demonstram que, durante a fase de lactação, o uso dessas forrageiras não são suficientes ao atendimento integral das exigências de P tanto para manutenção quanto para produção de leite, o que salienta a necessidade do uso de suplementos minerais, com o fito de suprir completamente a demanda de P nessa fase.

As concentrações de K obtidas em todas as forrageiras são suficientes para atender às exigências de K de ovinos machos de 20 kg de peso corporal (PC), em fase de crescimento, com ganho de peso diário de 100 g, conforme o NRC (2007) (1,1 g/dia) (Tabela 4). De forma verossimilhante, as concentrações de Mg de praticamente todas as forrageiras suprem as necessidades de Mg dessa mesma categoria animal (0,6 g/dia) (NRC, 2007), com exceção das observadas na jurema-preta e na maniçoba (Tabela 4).

Os níveis de K obtidos da jurema-preta, da catingueira, do mororó, do umbuzeiro, da aroeira, do capim-corrente e da melancia forrageira foram inferiores aos observados por Farias e Silva (1995), Medeiros et al. (2007), Pereira (2012) e Oliveira e Bernardino (2000) (9,80 g.kg<sup>-1</sup>; 11,80 g.kg<sup>-1</sup>; 11,5 g.kg<sup>-1</sup>; 10,00 g.kg<sup>-1</sup>; 13,00 g.kg<sup>-1</sup>; 17,80 g.kg<sup>-1</sup>; e 50,40 g.kg<sup>-1</sup>), em regiões semiáridas (Tabela 4). Ademais, as concentrações de K da leucena corroboram as faixas de variação de concentrações desse mineral verificadas por Costa et al. (1990), Costa et al. (2004), Martinez et al. (1990) e Scapinello et al. (2003) (6,30 a 10,20 g.kg<sup>-1</sup>) (Tabela 4).

O juazeiro destacou-se no fornecimento, principalmente, de Ca e S (Tabela 4), o que ressalta o potencial dessa forrageira na alimentação de fêmeas em lactação. Ademais, faz-se necessário salientar a utilização das estratégias de complementaridade dos recursos forrageiros para o atendimento das exigências de Ca, haja vista que nem todas as plantas analisadas apresentaram concentrações de Ca suficientes ao suprimento das necessidades desse mineral para caprinos, em fase de crescimento, com, no máximo, 25 kg de PC (6,99 a 12,15 g Ca/kg de ganho de PC) (ARAÚJO et al., 2010; GOMES et al., 2011; OLIVEIRA, 2007; TEIXEIRA, 2004), mas também por haver alguma limitação de uso na dieta seja por apresentar substâncias tóxicas em certas quantidades, como saponinas, mimosinas, seja por apresentar fatores antinutricionais, que reduzem a biodisponibilidade dos minerais aos ruminantes, por exemplo, o fitato.

A erva-sal demonstrou-se ser uma importante fonte de K, Mg, B e, sobretudo, de Na (Tabela 4), como ressaltado por Flowers (2004) e Temel e Keskin (2019). Contudo, a utilização dessa forrageira deve-se proceder com cautela, uma vez que o consumo excessivo de Na pelos animais aumenta a ingestão de água, com intuito de eliminar o excesso de Na, e, por conseguinte, acarreta a redução do consumo de alimentos, interferindo, com isso, no desempenho animal.

Vale acrescentar ainda que o velame e, principalmente, a erva-sal atendem integralmente às exigências de Na de caprinos e ovinos em crescimento, conforme o NRC (2007) (1,6 g/kg de ganho de PC e 1,1 g Na/kg de ganho de PC, respectivamente). Em trabalhos realizados no Brasil, também é possível perceber que essas concentrações de Na obtidas na erva-sal e no velame atendem às exigências líquidas de Na de 0,45 a 0,90 g/kg de ganho de PC, para mestiços de Boer e Saanen, com 5 a 25 kg de PC (TEIXEIRA, 2004); de 0,46 a 0,84 g/kg de ganho de PC, para caprinos Saanen, com 5 a 20 kg de PC (OLIVEIRA, 2007); de 1,46 a 2,08 g/kg de ganho de PC, para caprinos Moxotó, com 15 a 30 kg de PC (NÓBREGA et al, 2008); de 0,54 a 0,99 g/kg de ganho de PC, para caprinos Saanen, com 5 a 20 kg de PC (GOMES et al, 2011); e de 0,59 a 0,65 g/kg de ganho de PC, para  $\frac{3}{4}$  Boer x  $\frac{1}{4}$  Saanen, com 20 a 35 kg de PC (FERNANDES et al, 2012).

As concentrações de Na da jurema-preta, da catingueira, da melancia forrageira, do mororó e do sabiá foram inferiores às observadas por Medeiros et al. (2008), Oliveira e Bernardino (2000) e Vieira et al. (2005) (0,12 g.kg<sup>-1</sup>; 0,22 g.kg<sup>-1</sup>; 1,77 g.kg<sup>-1</sup>; 0,09 g.kg<sup>-1</sup>; e 1,5 g.kg<sup>-1</sup>), em regiões semiáridas (Tabela 4). Esses resultados podem estar relacionados aos baixos teores de Na, encontrados nas subáreas em que foram coletadas essas forrageiras (Tabela 3), bem como à dinâmica do sistema solo-planta, conforme observado (Figura 3).

De forma geral, as forrageiras apresentaram altas concentrações de B, com exceção da melancia forrageira e do capim-braquiária (Tabela 4). Ademais, as concentrações de B da catingueira, da jurema-preta e do mororó foram muito superiores às observadas por Medeiros et al. (2008) (1,20 mg.kg<sup>-1</sup>; 1,20 mg.kg<sup>-1</sup>; e 1,20 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Dessa forma, embora as exigências de B de ruminantes não estejam bem definidas, já que há um desconhecimento das funções metabólicas em que esse elemento atua, nas plantas, o B participa do metabolismo dos carboidratos, da divisão celular e da translocação (ALLEONI et al., 1998), ou seja, indiretamente esse elemento contribui para o desempenho animal, por estar associado ao crescimento vegetal e aos componentes da parede celular, que são as principais fontes de energia para os ruminantes.

As exigências de Cu de bovinos e ovinos são praticamente equivalentes (5 mg.kg<sup>-1</sup> de MS), contudo os ovinos são menos tolerantes a altas concentrações de Cu, ou seja, os ovinos apresentam uma tolerância trinta e cinco vezes (20 mg.kg<sup>-1</sup>) inferior à dos

bovinos ( $700 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) (ROSA e GOMES, 1982). Dessa forma, a única forrageira que excedeu esse limite de  $20 \text{ mg.kg}^{-1}$  de Cu foi a melancia forrageira ( $21,65 \text{ mg.kg}^{-1}$ ), o que sugere que se deve ter cautela na utilização dessa forrageira na dieta de ovinos, especialmente, para os animais jovens.

As únicas forrageiras que apresentaram concentrações de Cu inferior às exigências de bovinos e ovinos ( $5 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) foram a jurema-preta, a maniçoba e o mororó (Tabela 4), o que demonstra o papel da complementaridade entre as forrageiras para o atendimento integral desse mineral aos ovinos e aos bovinos. Ademais, em relação ao uso das demais forrageiras na alimentação de ovinos, estas devem ser incluídas nas dietas com cautela, a fim de se evitar acúmulo desse mineral nos tecidos, sobretudo, no fígado (ROSA e GOMES, 1982). Esse cuidado deve ser tomado, com o fito de se evitar quadros de toxicidade de Cu nos ovinos, uma vez que estes apresentam baixa tolerância ao acúmulo excessivo de Cu.

A concentração de Cu da melancia forrageira foi superior à observada por Oliveira e Bernardino (2000) ( $16 \text{ mg.kg}^{-1}$ ). Ao passo que, as concentrações de Cu identificadas na catingueira, na jurema-preta e no mororó foram, respectivamente, igual, inferior e superior às observadas por Pereira (2012) ( $11,50 \text{ mg.kg}^{-1}$ ,  $7,00 \text{ mg.kg}^{-1}$  e  $3,25 \text{ mg.kg}^{-1}$ , respectivamente). Em relação às concentrações desse mineral no capim-corrente, observaram-se valores superiores aos encontrados por Silva e Farias (1995) ( $7 \text{ mg.kg}^{-1}$ ) (Tabela 4). Essas variações devem-se, especialmente, aos teores de Cu disponíveis no solo (PEDREIRA e BERCHIELLI, 2006) (Tabela 3) e às relações do sistema solo-planta, como identificado (Figura 3).

O velame, além de ter apresentado as maiores concentrações de P, K e B, também se destacou no fornecimento de Fe e Mn. De forma verossimilhante, o capim-braquiária também destacou-se no fornecimento de Fe, além de N, P, K, Mg e Zn. Ao passo que, o capim-corrente teve maior destaque no fornecimento de K, B e Mn, bem como a pornunça destacou-se em relação à oferta de N, B e Mn (Tabela 4). Dessa forma, esses resultados evidenciam a necessidade de se manter uma dieta bastante diversificada, no sentido, de atendimento das necessidades minerais de ruminantes a pasto, mas também salienta a importância de um programa de alimentação que leve em consideração as estratégias de complementaridade entre os recursos forrageiros nativos e exóticos disponíveis na região semiárida.

Em geral, as concentrações de Fe das forrageiras, salvo a da maniçoba, são suficientes ao atendimento das exigências de Fe de ovinos machos de 20 kg de PC, em fase de crescimento, com ganho de peso diário de 100g (30 mg/dia), conforme o NRC (2007). De forma análoga, as concentrações de Zn das forrageiras, com exceção das concentrações de sabiá, jurema-preta e velame, atendem integralmente às exigências de Zn dessa mesma categoria animal (20 a 33 mg/dia). Ao passo que, os teores de Mn de todas as forrageiras são suficientes ao suprimento das necessidades desse mineral para esses ovinos em crescimento (12 a 15 mg/dia) (Tabela 4).

As concentrações de K, Zn, Fe e Cu do sabiá foram inferiores às identificadas por Vieira et al. (2005), no Semiárido de Pernambuco (15,40 a 17,10 g.kg<sup>-1</sup>; 38,10 a 52,71 mg.kg<sup>-1</sup>; 117,40 a 216 mg.kg<sup>-1</sup>; e 17,40 a 21,30 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente), como também as concentrações de Zn, Fe e Mn do capim-corrente foram inferiores às observadas por Farias e Silva (1995) (43 mg.kg<sup>-1</sup>; 142 mg.kg<sup>-1</sup>; e 185 mg.kg<sup>-1</sup>, respectivamente) (Tabela 4). Esses resultados salientam o potencial mineral dessas forrageiras para o atendimento das exigências de ovinos, segundo NRC (1985) (7 a 11 mg Cu.kg<sup>-1</sup>; 30 a 50 mg Fe.kg<sup>-1</sup>; 20 a 40 mg Mn.kg<sup>-1</sup>; e 20 a 33 mg Zn.kg<sup>-1</sup>), e de caprinos, consoante Kessler (1991) e Meschy (2000) (8 a 11% Cu/nível da dieta; 30 a 40% Fe/nível da dieta; 40 a 50% Mn/nível da dieta; e 50% Zn/nível da dieta)

Esses resultados demonstram que os recursos forrageiros nativos e exóticos da região semiárida apresentam concentrações de minerais adequadas ao atendimento das exigências minerais de ruminantes, criados a pasto, sobretudo, quando houver oferta tanto em quantidade quanto em diversidade florística. Ademais, ressaltam a necessidade da aplicação de estratégias de complementaridade mineral, visto que nenhuma forrageira é suficientemente capaz de atender integralmente às exigências de todos os minerais.

#### **4.3 Relações entre as características químicas do solo e a composição mineral das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro**

As correlações altas e negativas entre os teores de Mn, Zn e Fe do solo decorrem da competição pelos mesmos sítios de adsorção (SALGANHA et al., 2016), uma vez que esses minerais são cátions com diferentes números de oxidação, que os tornam mais ou menos atraídos pelas cargas negativas dos coloides do solo. Esses resultados explicam os maiores escores observados para os teores de Zn e de Fe do solo, relativos ao CPI (Figura 3).

As correlações positivas das concentrações de Mn das plantas com os teores de Zn do solo e as correlações negativas entre as concentrações de Mn e de Zn das plantas, provavelmente, resultam da presença de óxidos de Fe e Mn no solo, os quais elevam significativamente a adsorção específica de elementos metálicos, sobretudo, de Zn (MESQUITA et al., 2006). Além disso, o Zn, conforme Hippler et al. (2014), apresenta maior afinidade pelos coloides do solo em relação ao Mn, uma vez que a energia de ligação do Zn ( $0,035 \text{ L.mg}^{-1}$ ) é três vezes superior à observada para o Mn ( $0,010 \text{ L.mg}^{-1}$ ).

Nessa linha, as correlações negativas e altas dos teores de Mn do solo com as concentrações de Mn das plantas e dos teores de Zn do solo com as concentrações de Zn das plantas estão relacionadas à interação inversa entre adsorção e absorção desses cátions. Além disso, a correlação negativa entre os teores de Mn do solo e de Cu das plantas, provavelmente, resulta do excesso de íons metálicos de Mn, os quais reduzem a disponibilidade de Cu às plantas (DA ROS et al., 2003). Vale reforçar ainda que, segundo Murray (1975), o Cu é mais facilmente adsorvido aos coloides do solo em relação ao Mn.

A correlação negativa e alta entre as concentrações de Cu e Mn das plantas demonstra que o menor potencial de adsorção de Mn em relação a Cu não favorece, necessariamente, a disponibilidade desse mineral às plantas. Isso provavelmente está relacionada à adsorção de Mn pela matéria orgânica do solo ( $r=-0,7$ ), em formas estáveis, indisponíveis às plantas, conforme ressaltado por Carvalho Filho et al. (2011), Franco e Döbereiner (1971) e Moreira et al. (2006b).

Essa adsorção de cátions a formas estáveis, promovida pelo carbono total do solo, também foi verificada para K, Na e Mg, o que salienta o papel da matéria orgânica como reserva de nutrientes, os quais poderão ser disponibilizados às plantas, em momentos oportunos, por exemplo, em condições adequadas de umidade, períodos em que atividade microbiana do solo é bastante intensa. Com isso, demonstra-se a importância da matéria orgânica do solo, no Semiárido, no que se refere à ciclagem de nutrientes e à minimização das perdas de nutrientes.

Apesar de o P e o S serem ânions e, aparentemente, competirem pelos mesmos sítios de adsorção (GEELHOED et al., 1997), verificou-se correlação positiva e alta entre esses elementos nas plantas, o que demonstra que esses ânions não disputam pelos

mesmos sítios de adsorção, por haver sítios específicos de adsorção, corroborando Casagrande et al. (2003). Assim, a adsorção de fosfato ocorre, sobretudo, por óxidos e hidróxidos de Fe e Al (HE et al., 1997; PARFITT, 1978; SPOSITO, 1989) e de sulfato, por complexos de esfera externa (SPOSITO, 1989).

As correlações negativas observadas entre as concentrações de Mn das plantas e as de P das plantas e do solo, provavelmente, estão relacionadas à dessorção de P retido aos óxidos de Mn de baixa cristalinidade, por meio da redução de  $Mn^{4+}$  a  $Mn^{2+}$ , conforme observado por Shahandeh et al. (2003). Ademais, as correlações observadas entre os teores de P do solo com os de Ca ( $r=0,5562$ ), Al ( $r=0,3695$ ) e Fe ( $r=-0,5500$ ) do solo demonstraram a predominância da fixação de P pelos íons de Fe. Como a força de ligação entre esses elementos, conforme Rajj (1969), é mais intensa ( $P-Fe > P-Al > P-Ca$ ), ocorre uma menor liberação de P da fase sólida à solução do solo, o que contribui para os baixos teores de P disponíveis às plantas (Tabela 3).

A correlação moderada e positiva obtida entre o pH e a CTC do solo ( $r=0,5445$ ) demonstra a influência desses parâmetros para a disponibilização dos nutrientes, já que o pH modifica a polaridade das cargas negativas variáveis da superfície dos coloides (GUADALIX e PARDO, 1990; MARSH et al., 1987). Dessa forma, a correlação moderada e positiva identificada entre os teores de P e o pH do solo ( $r=0,6761$ ) está relacionada às correlações positivas verificadas entre os teores de P do solo e a CTC do solo, bem como entre os teores de P da planta e a acidez potencial, já que o pH, ao alterar a polaridade dos coloides do solo, interfere na CTC do solo e, por conseguinte, na disponibilidade de P às plantas, não só em relação à área de exploração do sistema radicular das forrageiras, mas também em relação à capacidade de retenção ou dessorção de P (HAYNES, 1982).

Como a acidez potencial é constituída pelo somatório de todas as fontes de prótons  $H^+$ , especialmente, o  $Al^{3+}$  trocável e os grupos funcionais orgânicos e inorgânicos (ERNANI, 2008), presume-se que haveria uma correlação negativa entre as concentrações de P da planta e a acidez potencial, já que o aumento da acidez potencial reduz a disponibilidade de P, contudo observou-se uma correlação positiva entre essas variáveis. Esses resultados, provavelmente, decorrem da ausência de alumínio na forma trocável ( $Al^{3+}$ ) (Tabela 3), haja vista que se verificou correlação baixa e positiva da acidez potencial com os teores de Al ( $r=0,3285$ ). Além disso, podem estar relacionados à correlação moderada e positiva com carbono total do solo ( $r=0,6162$ ), já que esta pode

bloquear os sítios de adsorção das superfícies das argilas e dos óxidos de Fe e Al (IBIA e UDO, 1993; PEREIRA et al., 2010; TIRLONI et al., 2009) e, por conseguinte, contribuir para a disponibilização de P às plantas.

As correlações moderadas e positivas obtidas entre os teores de P do solo e das plantas com o carbono total do solo ( $r=0,5403$  e  $r=0,6499$ , respectivamente) demonstraram que o P se torna também disponível às plantas via matéria orgânica do solo (IBIA e UDO, 1993; TIRLONI et al., 2009). Nesse sentido, a correlação mediana e positiva entre a CTC e o carbono total do solo ( $r=0,5117$ ) ressalta o potencial de adição de cargas elétricas a superfícies do solo via matéria orgânica.

Esse efeito do carbono total do solo também foi observado tanto para o boro ( $r=0,5236$ ) quanto para o sulfato ( $r=0,6609$ ), uma vez que a matéria orgânica do solo representa a principal fonte desses ânions ao solo (TABATABAI e BREMNER, 1972; SOARES et al., 2005). Essas respostas, para o sulfato, corroboram Bettany et al. (1973) e Tabatabai e Bremner (1972), os quais verificaram que os níveis de S do solo são diretamente proporcionais aos do carbono e do nitrogênio orgânico. Ademais, as correlações moderadas e altas das concentrações de S ( $r=0,5424$ ) e B com a CTC do solo, respectivamente, ressaltam a contribuição da matéria orgânica para a retenção de ânions, já que aumenta a proporção de cargas elétricas do solo e, conseqüentemente, favorece a CTC do solo, ao promover acréscimos de 150 a 400  $\text{cmol.kg}^{-1}$  (NOVAIS e MELLO, 2007).

Conquanto a relação entre os teores de K e Mg do solo seja considerada um exemplo clássico de efeito antagônico (MEURER, 2006), uma vez que competem pelos mesmos sítios de sorção (SALGANHA et al., 2016), foram identificadas correlações positivas, baixas e altas das concentrações desses elementos do solo ( $r=0,3099$ ) e das plantas, respectivamente. Esses resultados divergem dos obtidos por Fonseca e Meurer (1997) e Veloso et al. (2001), os quais verificaram, no milho, um efeito inibitório do K em relação à cinética de absorção e translocação do Mg.

Essa redução da assimilação de Mg pelo K pode estar associada à alta interação do Mg com as cargas elétricas do apoplasto, principal caminho de deslocamento até o xilema (WALKER e PITMAN, 1976). Além disso, em decorrência das características físicas e eletroquímicas do apoplasto, ocorre a retenção de cátions bivalentes, como Mg e Ca, em detrimento de cátions monovalentes, como K (CLARKSON, 1991;

MARSCHNER, 1993; MENGEL e KIRBY, 1987). Logo, as interações identificadas entre esses minerais podem ou representar uma adaptação das forrageiras às condições edafoclimáticas do Semiárido, por modificar a afinidade do apoplasto por cátions, ou decorrer da complexidade das inter-relações edafoclimáticas do Semiárido, que podem alterar a dinâmica dos nutrientes no sistema solo-planta.

A correlação positiva e alta obtida entre os teores de Ca do solo e pH do solo advém, provavelmente, da interação entre os íons de Ca e os prótons  $H^+$  da solução do solo, já que o aumento dos teores de Ca contribui para neutralização dos prótons  $H^+$  dissolvidos na solução do solo. Esse efeito do Ca no solo é essencial para a manutenção do pH do solo próximo da faixa da neutralidade (pH de 6 a 7), o qual representa uma medida ideal para absorção dos nutrientes do solo (FAQUIN, 2005). Portanto, o Ca no solo tem o papel de desfavorecer o efeito indireto do pH.

A correlação positiva e moderada verificada entre os teores de Ca do solo e a CTC do solo ( $r=0,4112$ ) ratifica a participação desse cátion na determinação da CTC do solo. Ademais, foi identificado que o Mn do solo também participa dessa determinação ( $r=0,6345$ ), corroborando Milivojević et al. (2011) ( $r=0,76$ ) e Rossi et al. (2017) ( $r=0,98$ ,  $p<0,1$ ). Contudo, como o Mn é um micronutriente, a contribuição desse mineral, quanto à determinação da CTC do solo, é desprezada, segundo Ronquin (2020).

Embora, neste trabalho, tenha sido observado apenas correlação da CE com o pH do solo ( $r=0,6531$ ), há diversos trabalhos em que CE se relaciona com muitas outras variáveis, como Mg, Ca, P, CTC, teor de argila, V,  $Al^{+3}$  e saturação por  $Al^{+3}$  (BRONSON et al., 2005; CARMO, 2014; FERNANDES et al., 2008; JOHNSON et al., 2001; PERALTA e COSTA, 2013). Essas correlações do pH com a CE e com os teores de Ca, Al e P do solo, e das concentrações de P da planta com a acidez potencial demonstram o quão intimamente essas variáveis estão, de forma geral, associadas a uma delas - o pH (Figura 3).

O agrupamento das forrageiras decorreu, sobretudo, das altas correlações das concentrações de Mn da planta e dos teores de Zn, Mn e Fe do solo (Figura 4). Conquanto não se tenha identificado nenhum padrão entre as concentrações de minerais das forrageiras (Tabela 4), as correlações positivas e negativas obtidas explicaram a

maioria das interações solo-planta em relação às concentrações de minerais das forrageiras nativas e exóticas do Semiárido.

Sob essa ótica, o primeiro grupo foi mais bem explicado pelo CP1, com base, principalmente, nas relações dos minerais das plantas com as concentrações de Mn das plantas e com os teores de Zn, Mn e Fe do solo. Aquelas forrageiras que não tiveram as interações minerais explicadas pelo CP1 foram traduzidas pelo CP2. Logo, as forrageiras agrupadas em cada grupo, embora pertençam a famílias distintas e apresentem, quantitativamente, concentrações de alguns minerais muito discrepantes entre elas (Tabela 4), compartilham as mesmas interações com as concentrações de Mn das plantas e os teores de Zn, Mn e Fe do solo.

## 5.0 CONCLUSÕES

Portanto, as espécies forrageiras nativas e exóticas do Semiárido brasileiro apresentam concentrações de N, K, Ca, Mg, S, Na, B, Cu, Fe, Zn e Mn adequadas aos atendimentos das exigências de minerais de ruminantes, com exceção das concentrações de P.

As interações solo-planta do Semiárido brasileiro são determinadas, sobretudo, pelas altas correlações das concentrações de Mn da planta e dos teores de Zn, Fe e Mn do solo. Essas correlações determinam as concentrações minerais das forrageiras sob as condições edafoclimáticas do Semiárido brasileiro.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFRC-Agricultural and Food Research Council. A reappraisal of the calcium and phosphorus requirements of sheep and cattle (Report 6). **Nutrition Abstracts and Reviews**, v.61, n.9, p.573-612, 1991.

AFRC-AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH. **Energy and protein requirements of ruminants**. Wallingford: CAB International, 1993. 158 p.

AFRC-AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **Technical Committee on Responses to Nutrients**, Report 10. The nutrition of goats. Ag. Food Res. Council. *Nutrition Abstracts and Reviews*. (Series B) v.67, p.806-815, 1998.

ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A.; CASAGRANDE, J.C. Isotermas de Langmuir e de Freundlich na descrição da adsorção de boro em solos altamente intemperizados. **Scientia Agricola.**, v.55, n.3, p.379-387, 1998.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONCALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

ANDRADE, A.P.; SILVA, D.S.; BRUNO, R.L.A.; SILVA, D.L.S.; MELO JUNIOR, J.L.A.; MAGALHÃES, A.L.R.; MELO, L.D.F.A.; MEDEIROS, A.N. Temporal rainfall variability as inductor of the phenology of Brazilian semiarid species. **Australian Journal of Crop Science**. v.14, n.2, p.299-307, 2020.

ARAÚJO, M.J.; MEDEIROS, A.N.; TEIXEIRA, I.A.M.A.; COSTA, R.G.; MARQUES, C.A.T.; RESENDE, K.T.; MELO, G.M.P. Mineral requirements for growth of Moxotó goats grazing in the semi-arid region of Brazil. **Small Ruminant Research**, v.93, p.1-9, 2010.

BERNARDI, A.C.C.; RASSINI, J.B.; FERREIRA, R.P. **Teores de potássio no solo, estado nutricional e produção de matéria seca de alfafa em função de doses e frequência da adubação potássica após dois anos de cultivo**. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 33, 2012. 25p.

BETTANY, J.R.; STEWART, J.W.B.; HASTE, A.D. Sulfur fractions and carbon, nitrogen, and sulfur relationships in grassland, forest, and associated transitional soils. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.37, n.6, p.915-918, 1973.

BRONSON, K.; BOOKER, J.; OFFICER, S.; LASCANO, R.; MAAS, S.; SEARCY, S.; BOOKER, J. Apparent electrical conductivity, soil properties and spatial covariance in the U.S. southern high plains. **Precision Agriculture**, Dordrecht, v. 6, p. 297-311, 2005.

CARMO, D. L. **Condutividade elétrica e sua relação com a fertilidade de solos tratados com corretivos e resíduos orgânicos**. 2014. 168p. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras – Lavras: UFLA, 2014.

CARVALHO FILHO, A.D.; CURTI, N.; MARQUES, J.J.G.D.S.; SHINZATO, E.; FREITAS, D.A.F.D.; JESUS, E.A.D.; MASSAHUD, R.T.L.R. Óxidos de manganês em solos do quadrilátero ferrífero (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.3, p.793-804, 2011.

CASAGRANDE, J.C.; ALLEONI, L.R.F.; CAMARGO, O.A.; BORGES, M. Adsorção de fosfato e sulfato em solos com cargas elétricas variáveis. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.27, p.51-59, 2003.

CLARKSON, D.T. Root structure and sites of Ion uptake. In: Waisel, Y.; Eshel, A.; Kafkafi, U. (eds.) **Plant Roots: The hidden half**. New York, Marcel Dekker. Chap.20, p.417-453, 1991.

COSTA, E.S.; SOUZA, A.A.; BEZERRA NETO, F.; LIMA, F.A.M.; PEREIRA, R.M.A. Valor nutritivo e efeito de diferentes níveis de feno de leucena sobre o consumo e digestibilidade das rações. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.9, p.1357-1366, 1990.

COSTA, N.L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A.; PEREIRA, R.G.A. Efeito do diferimento sobre a produção de forragem e composição química da leucena. **Revista Científica de Produção Animal**, v.6, n.2, p.16-22, 2004.

COSTA, N.L. **Formação, manejo e recuperação de pastagens em Rondônia**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2004.

DA ROS, C.O.; SALET, R.L.; PORN, R.L.; MACHADO, J.N.C. Disponibilidade de nitrogênio e produtividade de milho e trigo com diferentes métodos de adubação nitrogenada no sistema plantio direto. **UNICRUZ. Ciência Rural**, v.33, n.5, 2003.

DRUMOND, M.A.; RIBASKI, J. **Leucena (*Leucaena leucocephala*): leguminosa de uso múltiplo para o Semiárido brasileiro**. Embrapa Semiárido - Petrolina, PE. Comunicado Técnico 142, p.1-8, 2010. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/storage/arquivos/Leucena-Leucaena.pdf>. Acesso em: 4 de fevereiro de 2023.

ERNANI, P.R. **Química de solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, Paulo Ernani, 2008. 230p.

FAQUIN, V. **Nutrição Mineral de Plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. Curso de Pós-Graduação “Lato Sensu” (Especialização) a Distância: Solos e Meio Ambiente. 2005, p.186.

FERNANDES, L.A.; RAMOS, S.J.; VALADARES, S.V.; LOPES, P.S.N.; FAQUIN, V. Fertilidade do solo, nutrição mineral e produtividade da bananeira irrigada por dez anos. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.43, n.11, p.1575-1581, 2008.

FERNANDES, M.H.M. R.; RESENDE, K.T.; TEDESCHI, L.O.; TEIXEIRA, I.A.M.A. FERNANDES JUNIOR, J.S. Macromineral requirements for the maintenance and growth of Boer crossbred kids. **Journal Animal Science**. v.90, p.1-9, 2012.

FERREIRA, A.L.; SILVA, A.F.; PEREIRA, L.G.R.; BRAGA, L.G.T.; MORAES, S.A.; ARAUJO, G.G.L. Produção e valor nutritivo da parte aérea da mandioca, maniçoba e pornunça. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**. v.10, n.1, p.129-136, 2009.

FLOWERS, T.J. Improving crop salt tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v.55, p.307-319, 2004.

FONSECA, J.A.; MEURER, E.J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. **Revista brasileira da Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.47-50, 1997.

FRANCO, A.A.; DÖBEREINER, J. Toxidez de manganês de um solo ácido na simbiose soja–*Rhizobium*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.6, n.1, p.57-66, 1971.

GAMA, D.C.; JESUS, J.B. Principais solos da região semiárida do Brasil favoráveis ao cultivo do eucalyptus l’ heritier. **BIOFIX Scientific Journal**, v.5, n.2, p.214-221, 2020.

GEELHOED, J.S.; van RIEMSDIJK, W.H.; FINDENEGG, G.R. Effects of sulphate and pH on the plant-availability of phosphate adsorbed on goethite. **Plant and Soil**, n.197, p.241-249, 1997.

GOMES, R.A.; OLIVEIRA-PASCOA, D.; TEIXEIRA, I.A.M.A.; MEDEIROS, A.N.; RESENDE, K.T.; YANEZ, E.A.; FERREIRA, A.C.D. Macromineral requirements for growing Saanen goat kids. **Small Ruminant Research**, v. 99, p.160-165, 2011.

GUADALIX, M.E.; PARDO, M.T. Sulphate sorption by variable charge soils. **Journal of Soil Science**, n.42, p.607-14, 1990.

HAENLEIN G.F.W.; ANKE M. Mineral and trace element research in goats: A review. **Small Ruminant Research**. n.95, p.2-19, 2011.

- HAYNES, R.J. Effects of liming on phosphate availability in acid soils: a critical review. **Plant Soil**, n.68, p.289-308, 1982.
- HE, L.M.; ZELAZNY, L.W.; BALIGAR, V.C.; RITCHEY, K.D.; MARTENS, D.C. Ionic strength effects on sulfate and phosphate adsorption on  $\gamma$ -alumina and kaolinite: triplelayer model. **Soil Science Society of America Journal**, n.61, p.784-793, 1997.
- HIPPLER, F.W.R.; REIS, L.M.S.; BOARETTO, R.M.; QUAGGIO, J.A.; MATTOS-JR, D. Características adsorptivas de solos e o suprimento de zinco e manganês para os citros. **Citrus Research & Technology**, Cordeirópolis, v.35, n.2, p.73-83, 2014.
- IBIA, T.O.; UDO, E.J. Phosphorus forms and fixation capacity of representative soils in Akwa Ibom State of Nigeria. **Geoderma**, v.58, p.95-106, 1993.
- JOHNSON, C.K.; DORAN, J.W.; DUKE, H.R.; WIENHOLD, B.J.; ESKRIDGE, K.M.; SHANAHAN, J.F. Field-scale electrical conductivity mapping for delineating soil condition. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.65, p.1829-1837, 2001.
- KHAN Z.I.; HUSSAIN A.; ASHRAF M.; ASHRAF M.Y.; MCDOWELL L.R. Macromineral status of grazing sheep in a semi-arid region of Pakistan. **Small Ruminant Research**. n.68, p.279-284, 2007.
- KESSLER, J. **Mineral nutrition of goat**. In: MOHAND FEHR, P. (Editor). Goat Nutrition. Pudoc, Wageningen, The Netherlands, p.104-119, 1991.
- MALAVOLTA, E. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações** / Eurípedes Malavolta e outros. – Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MARTINEZ, L.E.M.; TERGAS, L.E.; MENDEZ-CRUZ, A.V. Producción de forraje y valor nutritivo de *Leucaena leucocephala* en la región semiárida del sur de Puerto Rico. **Pasturas Tropicales**, v.12, n.3, p.25-28, 1990.
- MARSH, K.B.; TILLMAN, R.W.; SYERS, J.K. Charge relationships of sulfate sorption by soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.2, n.51, p.318-323, 1987.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 889p., 1993.
- MEDEIROS, M.L.D.; SANTOS, R.V.; TERTULIANO, S.S.X. Avaliação do Estado Nutricional de Dez Espécies Arbóreas Ocorrentes No Semiárido Paraibano. **Revista Caatinga**, v.21, n.3, p.31-39, 2008.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 687p., 1987.
- MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; GIONGO, V.; PÉREN-MARIN, A.M. Biogeochemical cycling in terrestrial ecosystems of the Caatinga Biome. **Brazilian Journal of Biology**, v.72, p.643-653, 2012.
- MESQUITA, A.A.; AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; OLIVEIRA, C.; MAZUR N.; SANTOS, F.S. Remediação de solos tratados com lodo rico em zinco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.3, p.738-744, 2006.
- MEURER, E.J. Potássio. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2006. p.281-298.

MESCHY, F. Recent Progress in the assessment of mineral requirements of goats. **Livestock Production Science**. v.64, p.9-14, 2000.

MILIVOJEVIĆ, J.Ž.; ĐALOVIĆ, I.G.; JELIĆ, M.I.Ž.; TRIFUNOVIĆ, S.R.; BOGDANOVIĆ, D.M.; MILOŠEV, D.S.; NEDELJKOVIĆ, B.D.; BJELIĆ D.Đ. Distribution and forms of manganese in vertisols of Serbia. **Journal of the Serbian Chemical Society**. Caderno, p. 1177–1190, 2011.

MOREIRA, J.N.; LIRA, M.A.; SANTOS, M.V.F.; FERREIRA, M.A.; ARAÚJO, G. G.L.; FERREIRA, R.L.C.; SILVA, G.C. Caracterização da vegetação de Caatinga e da dieta de novilhos no Sertão de Pernambuco. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.41, n.11, p.1643-1651, 2006a.

MOREIRA, S.G.; PROCHNOW, L.I.; KIEHL, J.C.; MARTIN NETO, L.; PAULETTI, V. Formas químicas, disponibilidade de manganês e produtividade de soja em solos sob semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n.30, p.121-136, 2006b.

MURRAY, J. W. The interaction of metal ions at the manganese dioxide-solution interface. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v.39, p.505-519, 1975.

NÓBREGA, G.H.; SILVA, A.M.A.; PEREIRA FILHO, J.M.; AZEVEDO, S.A.; CARVALHO JÚNIOR, A.M.; ALCALDE, C.R. Composição corporal, exigências em proteína e energia para ganho de peso de caprinos em pastejo. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.30, n.4, p.407-414, 2008.

NOVAIS, R.F.; MELLO, J.W.V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. cap. IV, p.133-204, 2007.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of small ruminants**. 2007, 362p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Nutrients requeriments of sheep. 6th Ed. **National Academy Press**, Washington, DC, 1985.

OLIVEIRA, D. **Composição corporal e exigências em macrominerais para ganho em peso de cabritos Saanen**. 2007. 37f. Monografia (Graduação em Zootecnia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

OLIVEIRA, M.C.; BERNARDINO, F.A. **Melancia forrageira, um novo recurso alimentar para a pecuária das regiões secas do Nordeste do Brasil**. Circular Técnica da Embrapa Semiárido, Petrolina-PE, 2000. 17p.

OLIVEIRA, O.F.; SANTOS, M.V.F.; CUNHA, M.V.; MELLO, A.C.L.; LIRA, M.A.; BARROS, G.F.N.P. Características quantitativas e qualitativas de caatinga raleada sob pastejo de ovinos, Serra Talhada. **Revista Caatinga**, v.28, p.223-229, 2015.

PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**, n.30, p.1-50, 1978.

PERALTA, N.R.; COSTA, J.L. Delineation of management zones with soil apparent electrical conductivity to improve nutrient management. **Computers and Electronics in Agriculture**, New York, v.99, p.218-226, 2013.

PEREIRA, E.A.A. **Estrutura fitossociológica e composição mineral de espécies lenhosas de um fragmento de Caatinga no Semiárido**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Saúde e Tecnologia Rural– Patos - PB: UFCG, CSTR, PPGEF, p. 74. 2012.

PEREIRA, M.G.; LOSS, A.; BEUTLER, S.J.; TORRES, J.L.R. Carbono, matéria orgânica leve e fósforo remanescente em diferentes sistemas de manejo do solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.45, n.5, p.508-514, 2010.

PEDREIRA, M.S.; BERCHIELLI, T.T. Minerais. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal-SP: Funep, p.333-353, 2006.

PREZOTTI, L.C.; GUARÇONI, A.M. **Guia de interpretação de análise de solo e foliar**. Vitória, ES: Incaper, 2013. 104p.

RAIJ, B.A. Capacidade de troca de cátions das frações orgânica e mineral em solos. **Bragantia**. Campinas – SP. v.28, n.8. p.85-112, 1969.

RONQUIM, C.C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Territorial, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 35. 2.ed., 2020, 34p.

ROSA, I.V.; GOMES, R.F. **Intoxicação crônica de por cobre em ovinos**. Embrapa - Campo Grande, MS, Comunicado Técnico n.14, p.1-3, 1982. Disponível em: <https://old.cnpgc.embrapa.br/publicacoes/cot/COT14.html>. Acesso em: 4 de fevereiro de 2023.

ROSSI, N.G.; CAVALCANTE, R.M.; CANTON, L.C.; FIGUEIREDO, R.; SOUZA JUNIOR, I. G.; ANTONIO COSTA, A.C.S. Contribuição dos óxidos de manganês para a CTC do solo. **Anais - X EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica de 24 a 26 de outubro de 2017**, UNICESUMAR – Centro Universitário de Maringá, 2017.

SALDANHA, C.B.; EMRICH, E.B.; NEGRÃO, E.N.M., CASTIONI, G.A.F. **Ciência do solo: fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2016. 192 p.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – 5. ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p.**

SANTOS, I.P.A.; PINTO J.C.; SIQUEIRA, J.O.; MORAIS A.R.; SANTOS, C.L. Influência do fósforo, micorriza e nitrogênio no conteúdo de minerais de *Brachiaria brizantha* e *Arachis pintoi* consorciados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2, p.605-616, 2002.

SCAPINELLO, C.; ANTUNES, E.B.; FURLAN, A.C.; JOBIM, C.C.; FARIA, H.G. Fenos de leucena (*Leucaena leucocephala* e *Leucaena leucocephala* cv. ‘Cunningham’) para coelhos em crescimento: digestibilidade e desempenho. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.25, n.2, p.301-306, 2003.

SHAHANDEH, H.; HOSSNER, L.R.; TURNER, F.T. Phosphorus relationships to manganese and iron in rice soils. **Soil Science**, n.168, p.489-500, 2003.

- SILVA, C.M.M.S.; FARIA, C.M.B. Variação estacional de nutrientes e valor nutritivo em plantas forrageiras tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, n.3, p.413-420, 1995.
- SILVA, D.L.S.; OLIVEIRA, K.P.; AROEIRA, L.J.M.; CHAVES, D.F.; PONCIANO, M.F.; BRAGA, A.P.; LIMA JÚNIOR, D.M. Chemical composition of caatinga potential forages species. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**. n.18, p.267 – 272, 2015.
- SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes** / editor técnico, Fábio Cesar da Silva. – 2. ed. rev. ampl. - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.
- SOARES, M.R.; ALLEONI, L. R.F.; CASAGRANDE, J.C. Parâmetros termodinâmicos da reação de adsorção de boro em solos tropicais altamente intemperizados. **Química Nova**, v.28, n.6, p.1014-1022, 2005.
- SOETAN, K.O.; OLAIYA, C.O.; OYEWOLE, O.E. The importance of mineral elements for humans, domestic animals and plants. **African Journal of Food Science**. n.4, p.200–222, 2010.
- SPEARS, J.W.; WEISS, W.P. Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows. **The Veterinary Journal**, n.176, p.70–76, 2008.
- SPOSITO, G. **The Chemistry of Soils**. New York, Oxford University, 1989. 277p.
- SUTTLE, N.F. **Mineral Nutrition of Livestock**, 4th ed.; CABI: Wallingford, UK, 2010.
- TABATABAI, M.A.; BREMNER, J.M. Forms of sulfur, and carbon, nitrogen and sulfur relationship, in Iowa soils. **Soil science**, Baltimore, v.114, n.5, p.380-386, 1972.
- TEIXEIRA, A.M.A. **Métodos de estimativa de composição corporal e exigências nutricionais de cabritos F1 Boer x Saanen**. 2004, 91f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.
- TEIXEIRA, A.H.C. **Informações agrometeorológicas do polo Petrolina, PE/Juazeiro - 1963 a 2009**. - Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010, 21p.
- TEIXEIRA, P.C. DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de métodos de análise de solo**. Editores técnicos. – 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.
- TEMEL, S.; KESKIN, B. Annual evaluation of nutritional values of sassola ruthenica evaluated as a potential feed source in arid-pasture áreas. **Fresenius Environmental Bulletin**, v.28, n.10, p.7137-7144, 2019.
- TIRLONI, C.; VITORINO, A.C.T.; NOVELINO, J.O.; TIRLONI, D.; COIMBRA, D.S. Disponibilidade de fósforo em função das adições de calagem e de um bioativador do solo. **Ciência e Agrotecnologia**, v.33, p.977-984, 2009.
- VELOSO, C.A.C.; SOUZA, F.R.S.; PEREIRA, W.L.M.; TENÓRIO, A.R.M. Relações de cálcio, magnésio e potássio sobre a produção de matéria seca do milho. **Acta Amazonica**, v.31, n.2, p.193-204, 2001.

VIEIRA, E.L.; CARVALHO, F.F.R.C.; BATISTA, A.M.V.; FERREIRA, R.L.C.; SANTOS, M.V.F.; LIRA, M.A.; SILVA, M.J.; SILVA, E.M.B. Composição química de forrageiras e seletividade de bovinos em bosque-de-Sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth.) nos períodos chuvoso e seco. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.5, p.1505-1511, 2005.

WALKER, N.A.; PITMAN, M.G. Measurement of fluxes across membranes. In: **Encyclopedia of Plant Physiology**, New Series. Berlin, Springer-Verlag. v.2A, p.93-125, 1976.