



Desempenho produtivo de variedades de palma forrageira sob fontes de fertilização e doses de macronutrientes em diferentes classes de solo no semiárido paraibano

Productive performance of forage palm varieties under different fertilization sources and macronutrient doses in different soil classes in the semi-arid region of Paraíba

João Macedo Moreira¹, Djailson Silva da Costa Júnior², Aldrin Martin Pérez-Marin³

RESUMO

A escassez de forragem no polígono do Semiárido brasileiro tem impulsionado a adoção de espécies forrageiras adaptadas às condições climáticas locais. Este estudo avaliou o desempenho agrônomo e a produtividade da cultura da palma forrageira, em destaque os gêneros *Opuntia* e *Nopalea*, em diferentes fontes de fertilização e dois tipos de solos. Os ensaios foram conduzidos durante 24 meses, em áreas de 1 hectare, com blocos casualizados (DBC), com arranjo fatorial do tipo (3×4), com quatro repetições. Foram avaliadas as variedades *Opuntia stricta* (Haw.) Haw., conhecida popularmente como (Palma Orelha de Elefante – POE), *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (Palma Miúda – PM) e *Nopalea* sp. (Palma Baiana – PB), submetidas a quatro tratamentos de fertilização: testemunha (sem fertilizantes), fertilização orgânica (20 Mg ha⁻¹ de esterco), fertilização mista (10 Mg ha⁻¹ de esterco + 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio) e fertilização mineral (100 kg ha⁻¹ de N, 8,73 kg ha⁻¹ de P e 82,99 kg ha⁻¹ de K), em dois tipos de solo LUVISSOLO CRÔMICO e PLANOSSOLO NÁTRICO, localizados na Paraíba. A produtividade média foi de 3.753 kg ha⁻¹ no LUVISSOLO CRÔMICO e 1.421 kg ha⁻¹ no PLANOSSOLO NÁTRICO. Os resultados contribuem para aprimorar as pesquisas sobre palma forrageira e práticas de fertilização eficientes.

Palavras-chave: Palma miúda; Palma baiana; Forragem; Biofertilizante; Fertilização mineral.

ABSTRACT

The scarcity of forage in the Brazilian Semi-Arid region has driven the adoption of forage species adapted to local climatic conditions. This study evaluated the agronomic performance and productivity of forage cactus, highlighting the genera *Opuntia* and *Nopalea*, under different fertilization sources and two soil types. The trials were conducted for 24 months in 1 hectare areas, using a randomized complete block design (RCBD) with a 3x4 factorial arrangement and four replications. The varieties evaluated were *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. (Elephant Ear Cactus – POE), *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (Small Cactus – PM), and *Nopalea* sp. (Palma Baiana – PB), subjected to four fertilization treatments: control (no fertilizers), organic fertilization (20 Mg ha⁻¹ of manure), mixed fertilization (10 Mg ha⁻¹ of manure + 40 kg ha⁻¹ of nitrogen) and mineral fertilization (100 kg ha⁻¹ of N, 8.73 kg ha⁻¹ of P and 82.99 kg ha⁻¹ of K), in two soil types: CHROMIC LUVISOL and NATRIC PLANOSOL, located in Paraíba. The average productivity was 3.753 kg ha⁻¹ in the CHROMIC LUVISOL and 1.421 kg ha⁻¹ in the NATRIC PLANOSOL. The results contribute to improving research on forage palm and efficient fertilization practices.

Keywords: Giant palm; Small palm; Bahia palm; Forage; Biofertilizer; Mineral fertilization.

¹ Universidade Federal Rural de Pernambuco;

² Universidade Federal do Piauí;

³ Universidade Estadual da Paraíba.

Autor correspondente: djailson.junior@ufpi.edu.br

Recebido em: 27/04/2025. Aceito em: 05/05/2026.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

1 INTRODUÇÃO

A pecuária constitui um dos principais componentes da economia no Semiárido brasileiro (SAB), embora sua manutenção dependa de aportes significativos de insumos produtivos (Araujo *et al.*, 2023). Entretanto, a produção de forragem por espécies vegetais nessa região apresenta flutuações temporais marcantes, resultantes, sobretudo, da variabilidade das precipitações, frequentemente associada a eventos climáticos irregulares (Maniçoba *et al.*, 2021; Rocha Filho *et al.*, 2021; Diniz *et al.*, 2020). A instabilidade interfere diretamente na harmonia entre a oferta de alimento e as necessidades nutricionais dos rebanhos.

Em razão dessas limitações ambientais, torna-se fundamental adotar estratégias de convivência com o semiárido, incorporando práticas agropecuárias baseadas na utilização de espécies adaptadas ao déficit hídrico, as cactáceas têm sido utilizadas como alternativa alimentar, visando à segurança forrageira na região (Ramos *et al.*, 2020).

Dentre essas espécies, a palma forrageira se destaca por sua alta eficiência no uso da água, capacidade de rebrote, produção de biomassa e elevada palatabilidade, sendo amplamente reconhecida como alternativa estratégica na alimentação animal em regiões áridas e semiáridas, inclusive, comparativamente com outras famílias de plantas indicadas para produção de forragem (Sá *et al.*, 2021; Rocha, 2012; Dubeux Júnior; Santos, 2005; Simões; Santos; Dias, 2005).

Nas últimas décadas, o cultivo da palma forrageira vem sendo intensificado no Nordeste brasileiro, impulsionado por políticas públicas, programas de fomento e, principalmente, pela resiliência da cultura frente às adversidades climáticas. Apesar da expansão territorial, grande parte da produção ainda se encontra vinculada a sistemas de baixo nível tecnológico, com limitada utilização de práticas de manejo que promovam o aumento da produtividade e a sustentabilidade do cultivo (Barros *et al.*, 2016).

O manejo inadequado da palma e o uso inadequado de material genético (variedades), ao decorrer de décadas, têm contribuído para a redução da fertilidade dos solos. De acordo com Dubeux Júnior e Santos (2005), considerando uma colheita de 20 Mg ha⁻¹ de biomassa, a estimativa de extração de nutrientes pela cultura foi de 180 kg de nitrogênio, 32 kg de fósforo, 516 kg de potássio e 470 kg de cálcio. Dessa forma, sem a devida reposição por meio da fertilização, a produtividade tende a declinar. Contudo, ainda há pouco conhecimento acerca dos aspectos relacionados à fertilização e à nutrição mineral dessa forrageira nos mais variados tipos de solos. Melhorias na eficiência da fertilização podem resultar em ganhos produtivos, promovendo maior estabilidade e sustentabilidade à atividade pecuária na região semiárida.

Algumas pesquisas têm enfatizado os efeitos da irrigação e fertilização na produtividade e eficiência da cultura da palma forrageira (Silva *et al.*, 2020; Brito *et al.*, 2021; Santana *et al.*, 2021). Assim, é essencial estabelecer condições ideais de fertilidade do solo para a cultura da palma, em especial do gêneros botânicos *Opuntia* e *Nopalea*, considerando sua importância na estabilização do potencial forrageiro em regiões de semiaridez. Para tanto, é imprescindível compreender as principais exigências nutricionais dessas espécies, como base para o desenvolvimento de sistemas de produção ajustados à realidade dos produtores do SAB, especialmente da Paraíba.

Diante disso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a resposta produtiva e morfológica de genótipos de palma forrageira submetidos a diferentes fontes de fertilização em distintas classes de solo no semiárido paraibano, visando identificar estratégias mais eficientes de manejo nutricional.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GERAL DAS ÁREAS DE PESQUISAS

Os experimentos foram conduzidos nos períodos de estiagem, em duas unidades experimentais nos municípios de Condado e Riachão, Paraíba, Brasil, situados nas Microrregiões de Patos e Curimataú Oriental, respectivamente. Em Condado, a pesquisa foi realizada no Assentamento Nova Conquista ($6^{\circ}54'40.74''\text{S}$ e $37^{\circ}39'44.92''\text{W}$), em um solo classificado como LUVISSOLO CRÔMICO. Enquanto, em Riachão, a instalação experimental ocorreu no Assentamento Baixio ($6^{\circ}34'05.1''\text{S}$ e $35^{\circ}41'52.9''\text{W}$), em uma área com ocorrência de PLANOSSOLO NÁTRICO, os solos foram classificados de acordo com o manual da Embrapa (2013).

As séries temporais utilizadas na caracterização climática foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia, período padrão de 30 anos recomendado pela Organização Meteorológica Mundial para definição de normais climatológicas nos municípios de Campina Grande e Patos, no estado da Paraíba, no que dista mais próximos das áreas pesquisadas. Foi considerado valores mensais históricos da precipitação pluvial (mm), temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$), temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$) e temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$). A classificação climática foi realizada com base no sistema de Classificação climática de Köppen-Geiger.

Dada a proximidade da estação meteorológica mais próxima, assim o município de Condado-PB possui clima semiárido quente (classificação BSh segundo Köppen), caracterizado por chuvas irregulares, com média anual de precipitação em torno de 770 mm (Figura 1), cuja concentração ocorre entre os meses de janeiro a abril. A altitude da região oscila entre 100 a 300 metros, e as temperaturas diurnas variam de 20 a 35 $^{\circ}\text{C}$. O clima é marcado por forte incidência solar, céu geralmente limpo e ausência de orvalho noturno (Figura 1).

Já o clima da Região de Campina Grande – PB, cuja proximidade com o município de Riachão-PB, o clima é do tipo As' de acordo com Köppen (Figura 2), período chuvoso concentra-se entre os meses de março e julho. A altitude média é mais elevada, entre 300 e 600 metros (Figura 2).

Adicionalmente, durante a condução do experimento, foi realizado o monitoramento direto da precipitação pluvial por meio de pluviômetros instalados nas áreas experimentais. Os totais anuais de precipitação registrados para o ano de instalação e dois anos consecutivos foram, respectivamente: 518,4 mm, 714,2 mm e 395,0 mm em Condado-PB, e 514,9 mm, 482,5 mm e 333,2 mm em Riachão-PB. Esses dados foram utilizados para caracterizar as condições hídricas reais durante o período experimental e subsidiar a interpretação dos resultados produtivos.

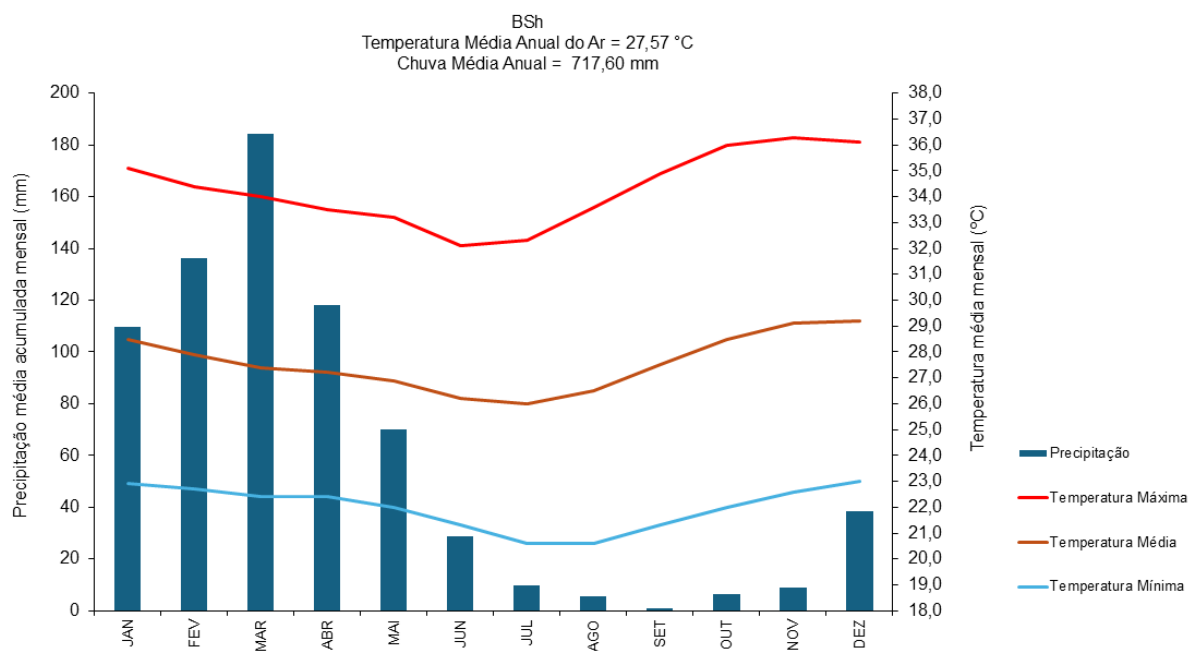


Figura 1. Climograma e classificação climática de Köppen's (1948), Patos-PB, Brasil.

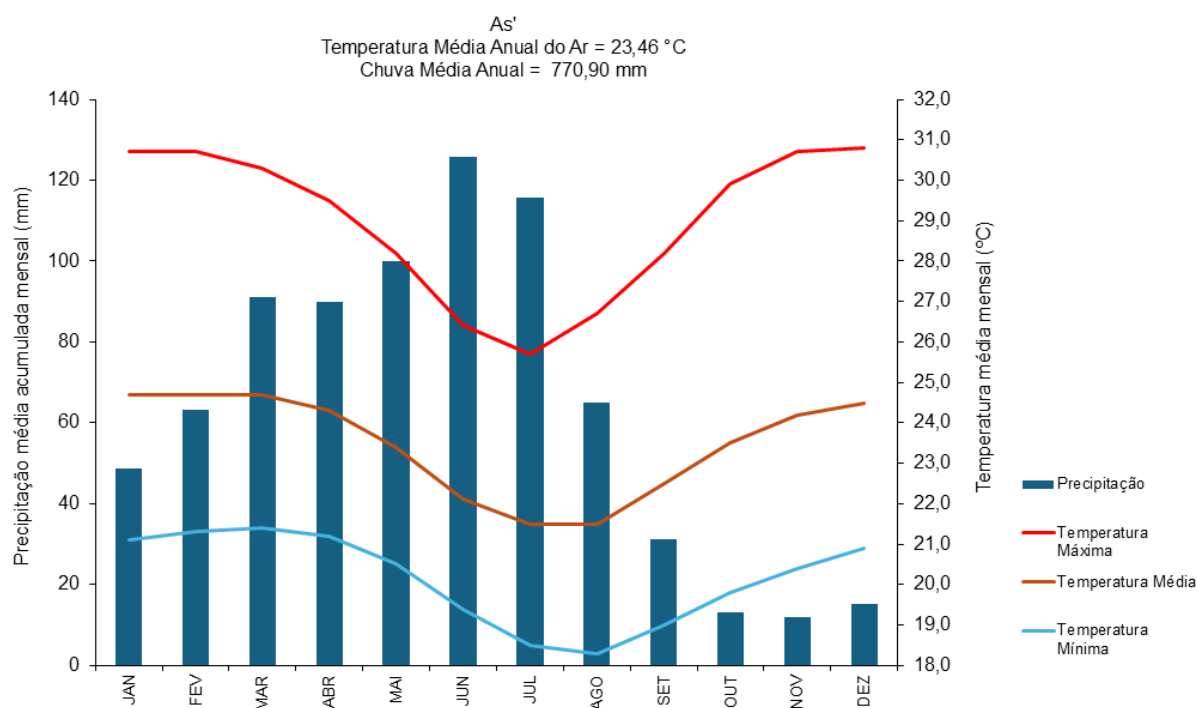


Figura 2. Climograma e classificação climática de Köppen's (1948), Campina Grande-PB, Brasil.

A vegetação local das duas unidades experimentais reage rapidamente às chuvas, retomando a coloração verde, mas durante o período de estiagem, ocorre intensa perda foliar nas árvores, com predominância de espécies xerófilas — uma adaptação natural à baixa disponibilidade de água no solo.

2.2 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS SOLOS DAS UNIDADES EXPERIMENTAIS

Para a análise química dos solos, foram coletadas 144 amostras simples na profundidade de 0,0 a 20,00 centímetros em cada tipo de solo, distribuídas em toda a área experimental, posteriormente agrupadas em amostras compostas. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos e encaminhadas ao laboratório de fertilidade de solos do Instituto Nacional do Semiárido (INSA), em Campina Grande – PB. No laboratório, o solo foi seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 2,0 mm.

Os atributos químicos dos solos estão apresentados na Tabela 1, cujas análises incluíram a determinação de carbono orgânico total - COT, nitrogênio total (método Kjeldahl), cálcio e magnésio extraídos com KCl 1 mol L⁻¹ e quantificados por espectrometria de absorção atômica; fósforo, potássio e sódio extraídos por Mehlich-1, com o fósforo medido por colorimetria e o potássio e sódio por fotometria de chama; além da medição do pH em água na proporção 1:2,5 (EMBRAPA, 2011).

Tabela 1. Caracterização química dos solos (0-20 cm) nas áreas experimentais nos municípios de Riachão-PB (PLANOSSOLO NÁTRICO) e Condado-PB (LUVISSOLO CRÔMICO).

Município	COT	pH	P	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	Al ⁺³	H+Al	T (pH7)	T	V
	g kg ⁻¹	H ₂ O _(1:2)	mg dm ⁻³	-----cmo _c dm ⁻³ -----								%
Riachão-PB	1,03	6,6	10,12	6,10	0,0	0,36	0,05	0,74	0,78	7,30	7,20	89,3
Condado-PB	2,05	6,5	8,98	8,98	0,0	0,27	0,05	0,0	1,27	10,6	9,3	88,0

COT= Carbono orgânico total; P= fósforo; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio; K= potássio; Al= Alumínio; H= Hidrogênio; T= troca catiônica; V= saturação por bases.

2.3 CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DOS FERTILIZANTES UTILIZADOS NA PESQUISA

Foram utilizados fertilizantes orgânicos e minerais, como esterco, fertilizante misto NPK, Sulfato de Amônio, a seguir na (Tabela 2), pode ser visualizado a caracterização dos macronutrientes de cada fonte de fertilizante.

Tabela 2. Composição química dos fertilizantes aplicados nas unidades experimentais com três variedades de palma forrageira sob diferentes fontes nutricionais.

Fertilizantes	N	C	P	K	Ca	Mg
	-----dagkg ⁻¹ -----					
Esterco (Condado)	2,03	20,92	1,08	4,42	5,09	2,38
Esterco (Riachão)	1,86	21,95	1,11	4,90	5,27	2,47
NPK	21,00	0,00	7,86	50,00	0,00	0,00
Sulfato de Amônio	21,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

N= Nitrogênio; C= Carbono; P= fósforo; K= potássio; Ca= Cálcio; Mg= Magnésio.

2.4 ORIGEM DAS MUDAS E TRATOS CULTURAIS PREVIAMENTE APLICADOS

Os cladódios (raquetes) empregados como propágulos vegetativos no experimento foram provenientes de matrizes vigorosas e bem desenvolvidas, oriundas de Campina Grande-PB (variedade Orelha de Elefante – POE), Barra de Santana-PB (variedade Miúda – PM) e Caturité-PB (variedade Baiana – PB). Após a coleta, as raquetes foram submetidos a cicatrização do tecido vegetal, onde houve a incisão para sua coleta, a cicatrização ocorreu em ambiente sombreado durante o período de oito dias. Em seguida, ocorreu o acondicionamento e realizado o transporte em veículo do tipo “carga seca” até as áreas experimentais.

A preparação da área envolveu a remoção da vegetação arbustiva e herbácea. Posteriormente, realizou-se a gradagem do solo com trator equipado com discos, e, na sequência, efetuou-se a abertura de covas com profundidade entre 10 e 15 cm, utilizando enxadas. Os cladódios (raquetes) foram então posicionados verticalmente nas covas, com a extremidade cortada voltada para o solo e enterrados de modo que aproximadamente metade de sua altura permanecesse fixa no solo, garantindo maior estabilidade após a brotação e o desenvolvimento de novos cladódios (raquetes). O plantio foi realizado em linhas dispostas transversalmente ao declive do terreno, com o objetivo de formar barreiras naturais e reduzir os riscos de erosão.

As três variedades foram implantadas ao final dos meses de estiagem, em Condado-PB a estiagem corresponde entre os meses de agosto à dezembro, no município de Riachão entre os meses junho à dezembro. Adotou-se o arranjo com espaçamento em fileiras duplas, com 1,5 m entre fileiras e 0,5 m × 0,5 m entre plantas e linhas, com esse arranjo corresponde numa densidade de 20.000 plantas ha⁻¹ (Araújo *et al.*, 2019). Durante o experimento, foram realizadas roçadas manuais, na janela de chuvas do início e final, com isso controlar as plantas espontâneas e reduzir a mato competição, especialmente nas fases de aplicação dos tratamentos.

2.5 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E DESCRIÇÃO DOS TRATAMENTOS

Foram estabelecidas duas unidades experimentais com área de 1,0 hectare cada, conduzidas sob delineamento em blocos ao acaso (DBC), dispostas em arranjo fatorial do tipo (3×4), com quatro repetições por tratamento. Os fatores avaliados corresponderam a três genótipos de palma forrageira — *Opuntia stricta* (Haw.) Haw. (cv. Orelha de Elefante – POE), *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck (cv. Miúda – PM) e *Nopalea* sp. (cv. Baiana – PB) — submetidos a quatro regimes de fertilização: testemunha (T), sem aplicação de fertilizantes; esterco bovino (E), com aplicação de 20 Mg ha⁻¹ o que equivale a (406 kg de N ha⁻¹ ; 216 kg de P ha⁻¹ ; 884 kg de K ha⁻¹) para o esterco de Condado-PB; e (372 kg de N ha⁻¹ ; 222 kg de P ha⁻¹ ; 980 kg de K ha⁻¹) para o esterco de Riachão-PB; fertilização mista de esterco e fonte de nitrogênio (EN), com 10 Mg ha⁻¹ ,o que equivale a (203 kg de N ha⁻¹ ; 108 kg de P ha⁻¹ ; 442 kg de K ha⁻¹) para o esterco de Condado-PB; e (186 kg de N ha⁻¹ ; 111 kg de P ha⁻¹ ; 490 kg de K ha⁻¹) para o esterco de Riachão-PB, associado a 40 kg ha⁻¹ de nitrogênio; e fertilização mineral (AM), com doses de 100, 8,73 e 82,99 kg ha⁻¹ de N, P e K, respectivamente, conforme proposto por Santos *et al.*, (2008).

As doses dos tratamentos foram definidas com base nas práticas comumente adotadas por produtores da região do Semiárido, para que possamos validar a prática adotada pelos produtores rurais, associadas a fertilização mineral, conforme exigido por Santos *et al.*, (2008). O sulfato de amônio foi utilizado como fonte mineral de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre.

No interior de cada unidade experimental de 1 ha, foram demarcadas quatro parcelas com 3.266,3 m² cada (100,5 m × 32,5 m), correspondentes aos blocos experimentais. Os blocos foram subdivididos em 12 unidades experimentais de 260 m² (32,5 m × 8 m), nas quais foram distribuídos os 12 tratamentos conforme o arranjo fatorial. A aplicação dos fertilizantes, tanto orgânicos quanto minerais, foi realizada diretamente nas covas no momento do plantio.

2.6 COLETA DE DADOS E VARIÁVEIS ANALISADAS

As avaliações foram realizadas aos 12 meses após o plantio, ao final do ciclo inicial de desenvolvimento da cultura, período que coincide com a fase de maior acúmulo de biomassa nas condições do Semiárido. Após 12 meses do plantio as palmas forrageiras, foram avaliadas, utilizou-se para a avaliação quatro plantas (indivíduos) por parcela, com as seguintes variáveis mensuradas: Altura de Planta (AP), Número de Cladódios (raquetes) (NC) e Produção de Massa Verde (MV). A altura das plantas foi medida com o auxílio de uma fita milimetrada, desde o nível do solo até o ponto mais alto da planta. O número de cladódios (raquetes) por indivíduo foi determinado pela contagem dos cladódios (raquetes) emitidos e posterior divisão pelo número de plantas colhidas em cada tratamento, de acordo com metodologia descrita por Guimarães *et al.*, (2018).

Para a obtenção da produção de massa verde, os cladódios (raquetes) foram colhidos na primeira inserção, preservando-se a raquete matriz. Em seguida, procedeu-se à pesagem do material coletado e os valores foram divididos pela área útil da parcela, com posterior extrapolação para a unidade de kg ha⁻¹. A aferição do teor de matéria seca (MS) foi realizada a partir de uma subamostra de 1,0 kg de massa verde de cada tratamento. As subamostras foram inicialmente secas em casa de vegetação, posteriormente picadas e levadas à estufa com ventilação forçada, mantida a 57 °C por um período de oito dias, a fim de evitar perdas por volatilização ou apodrecimento. Após esse período, foram pesadas novamente para cálculo da matéria seca, considerando-se a diferença entre o peso inicial e o peso final (Guimarães *et al.*, 2018).

Com base nos dados de produtividade de matéria seca, foi calculado o Índice Ambiental (IA), considerando-se a média de produtividade das três variedades de palma em cada local de cultivo, conforme metodologia descrita por Hildebrand e Russell (1998).

2.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, conforme o delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial. As médias dos tratamentos

foram comparadas utilizando o teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade, os dados foram analisados com auxílio do software SISVAR (Ferreira, 2019).

Posteriormente, foi realizada uma análise de regressão entre a produtividade das diferentes variedades de palma forrageira e o Índice Ambiental (IA) calculado para cada localidade. Essa abordagem permitiu avaliar a adaptabilidade das variedades às condições edafoclimáticas dos dois locais de estudo, Condado e Riachão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No LUVISSOLO CRÔMICO localizado em Condado-PB, não foi observado efeito significativo da interação entre os fatores variedade e fertilização ($p > 0,05$), razão pela qual os efeitos foram analisados de forma isolada. Verificou-se diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre as variedades para as variáveis altura de planta (AP), número de cladódios (NC) e matéria seca (MS). No entanto, não houve diferença significativa para a produtividade (Tabela 3). As variedades Orelha de Elefante (POE) e Baiana (PB) apresentaram altura de planta aproximadamente 9,0% superior à variedade Miúda (PM). Esse resultado indica que, embora existam diferenças morfológicas entre os genótipos, tais variações não se traduziram diretamente em incremento produtivo, sugerindo possível compensação fisiológica entre crescimento vegetativo e acúmulo de biomassa, conforme pode ser observado nos resultados a seguir.

Tabela 3. Comportamento morfológico de variedades de palma forrageira sob diferentes fontes de fertilização, num LUVISSOLO CRÔMICO.

TRATAMENTOS		LUVISSOLO CRÔMICO		
VARIEDADES	AP	NC	MS	PMS
POE	61,22 ^a	8,9c	7,62c	4.211,08a
PM	55,52b	20,59a	10,64a	3.312,50a
PB	62,31 ^a	11,94b	9,46b	3.736,08a
FERTILIZAÇÕES				
Testemunha	59,28 ^a	13,4a	9,23a	3.645,61a
Esterco	61,25 ^a	13,64a	9,04a	3.945,93a
Esterco + N	59,24 ^a	13,97a	9,16a	3.686,35a
Mineral (NPK)	58,97 ^a	14,23a	9,53a	3.734,99a

AP= Altura de plantas (cm); NC= N° de Cladódios (raquetes); MS = Matéria seca (%) e PMS= Produtividade de matéria seca (kg ha⁻¹). * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ^{NS} não significativo. Médias seguidas de letras diferentes na vertical diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott. ¹Dados apresentados como transformados em $(x+1)^{1/2}$.

Considerando o número de cladódios (raquetes), estruturas que, no primeiro ano de cultivo, podem ser interpretadas como propágulos (raquetes-semente), a variedade Miúda (PM) apresentou valor significativamente superior em relação às variedades Orelha de Elefante (POE) e Baiana (PB), sendo que o menor número de cladódios (raquetes) (NC) foi registrado na variedade POE. No que se refere à matéria seca (MS), a variedade PM apresentou acúmulo 39,0% e 15,0% superior em comparação às variedades POE e PB, respectivamente. A produtividade média das três variedades, sob condição de LUVISSOLO

CRÔMICO, foi de 3.753 kg ha⁻¹ de matéria seca. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas ($p>0,05$) entre os tratamentos de fertilização para as variáveis avaliadas, a ausência de resposta à fertilização nesse ambiente pode estar relacionada à limitação hídrica durante o período experimental, reduzindo a eficiência de absorção e aproveitamento dos nutrientes aplicados.

Esse comportamento reforça o caráter mais comum da variedade PM, indicando maior potencial de multiplicação vegetativa, o que pode ser vantajoso em sistemas de produção que visam rápida expansão da área cultivada devido o maior número de cladódios (raquetes).

No PLANOSSOLO NÁTRICO localizado em Riachão-PB, observaram-se diferenças significativas nas variedades, no número de cladódios (raquetes) (NC), além de interação significativa entre variedade e fertilização para a variável matéria seca (MS) (Tabela 4). A ocorrência de interação indica que o desempenho das variedades foi dependente do tipo de fertilização adotado, evidenciando comportamento diferencial frente às condições edáficas mais restritivas desse solo, além das características intrínsecas das variedades.

A variedade PM apresentou maior número de cladódios (raquetes) em comparação às variedades POE e PB, sendo que o menor valor foi registrado na variedade POE. A produtividade média entre as variedades no município de Riachão foi de 1.421 kg ha⁻¹ de MS.

Em relação aos tratamentos de fertilização, houve diferença significativa para as variáveis altura de planta (AP) e produtividade. A AP foi superior nos tratamentos com fertilização mineral (AM) e fertilização mista de esterco e fonte de nitrogênio (EN), quando comparados aos tratamentos com esterco bovino (E) e testemunha (T). Neste tipo de solo (PLANOSSOLO NÁTRICO), a fertilização mineral (AM) resultou em incremento de 38% na produtividade em relação a média dos demais tratamentos avaliados (Tabela 4).

Tabela 4. Comportamento morfológico de variedades de palma forrageira sob diferentes fontes de fertilização, num PLANOSSOLO NÁTRICO.

TRATAMENTOS VARIEDADES	PLANOSSOLO NÁTRICO			
	AP	NC	MS	PMS
POE	49,23a	3,94b	7,84b	1.680,88a
PM	41,23a	9,12a	8,61a	1.134,15a
PB	46,10a	5,69b	7,75b	1.448,20a
FERTILIZAÇÕES				
Testemunha	41,72b	4,61a	7,87a	1.089,12b
Esterco	42,10b	5,53a	8,16a	1.211,30b
Esterco + N	47,25a	6,53a	8,31a	1.416,03b
Mineral (NPK)	51,02a	8,33a	7,92a	1.968,92a

AP= Altura de plantas (cm); NC= N° de Cladódios (raquetes); MS = Matéria seca (%) e PMS= Produtividade de matéria seca (kg ha⁻¹). * e ** significativo a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ^{ns} não significativo. Médias seguidas de letras diferentes na vertical diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Scott-Knott. ¹Dados apresentados como transformados em $(x+1)^{1/2}$.

Após verificar que no PLANOSSOLO NÁTRICO a PMS houve diferenças estatísticas, e a sua produtividade ficou evidentemente menor, na análise do desdobramento da interação do fator “variedades” dentro de uma mesma fertilização, foi verificado que a variedade PM apresentou maior teor de MS nas parcelas testemunhas, em

comparação POE e PB. Por outra parte no desdobramento do fator “fertilização” dentro de uma mesma variedade, observou-se que a variedade PB, teve maior produtividade quando fertilizada com esterco e esterco + mineral, para as variedades POE e PM os tratamentos de fertilização não influenciaram significativamente o teor de MS (Tabela 5).

Tabela 5. Comportamento da interação do teor de matéria seca (MS%) e variedades de palma forrageira sob diferentes fontes de fertilização, num PLANOSSOLO NÁTRICO.

Variedades	Fontes de fertilização			
	Testemunha	Esterco	Esterco + Mineral	Mineral
POE	7,39 bA	7,99 aA	8,01 aA	7,96 aA
PM	9,14 aA	7,83 aA	9,00 aA	8,47 aA
PB	7,09 bB	8,66 aA	7,93 aA	7,34 aB

Letra maiúscula nas linhas comparam as fertilizações e minúscula nas colunas comparam as variedades. Letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Conforme exibido na (Figura 3), a análise de regressão das variedades POE, PB e PM demonstra a tendência de resposta da produtividade em função do índice ambiental (IA) nos dois ambientes avaliados, Condado e Riachão. Observa-se que todas as variedades apresentaram elevados coeficientes de determinação ($R^2 > 0,99$), indicando que grande parte da variação da produtividade é explicada pelo modelo ajustado.

Esse resultado evidencia um forte ajuste das regressões, indicando consistência na relação positiva entre o índice ambiental e a produtividade de matéria seca. Assim, independentemente da variedade, verifica-se que o aumento do IA está associado ao incremento da produtividade, refletindo a influência direta das condições ambientais sobre o desempenho da cultura.

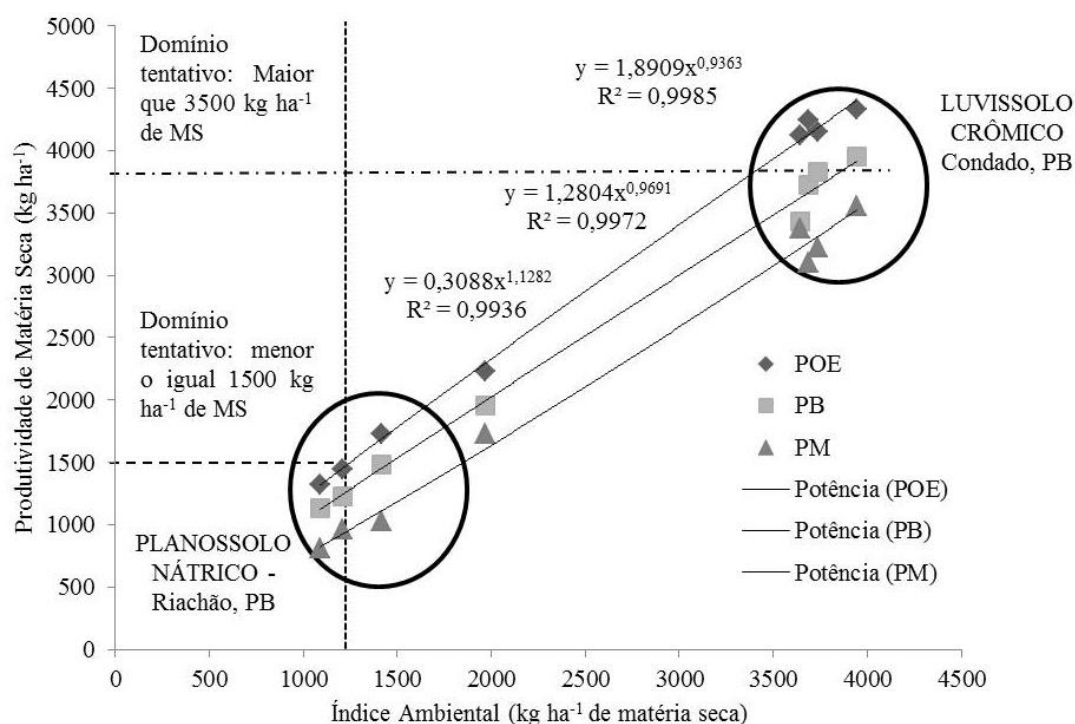


Figura 3. Comportamento da produtividade de matéria seca (PMS) de variedades de palma forrageira sob diferentes fontes de fertilização, em função do índice ambiental (IA), em diferentes tipos de solos.

A (Figura 3) apresenta a relação entre o Índice Ambiental (kg ha^{-1} de matéria seca) e a Produtividade de Matéria Seca (kg ha^{-1}) para três tratamentos (POE, PB e PM), avaliados em diferentes ambientes edafoclimáticos representados por dois tipos de solos: PLANOSSOLO NÁTRICO (Riachão, PB) e LUVISSOLO CRÔMICO (Condado, PB).

Observa-se que os dados oriundos do PLANOSSOLO NÁTRICO se concentram na porção inferior do gráfico, com valores de produtividade menores ou iguais a 1500 kg ha^{-1} , caracterizando um domínio ambiental restritivo à alta produtividade. Em contraposição, os dados do LUVISSOLO CRÔMICO situam-se na porção superior do gráfico, com produtividades superiores a 3500 kg ha^{-1} , indicando um domínio ambiental favorável ao desenvolvimento das variedades.

As curvas de regressão para as variedades POE, PB e PM evidenciam o incremento da produtividade com o aumento do Índice Ambiental, sendo a variedade POE aquela que apresenta os maiores valores estimados de produtividade em todos os níveis de ambiente. Essa tendência sugere uma maior responsividade dessa variedade à melhoria das condições ambientais.

A (Figura 3) também delimita visualmente, com linhas tracejadas horizontais e verticais, os limiares dos domínios ambientais propostos, os quais são úteis para a interpretação da adaptabilidade e da resposta produtiva dos tratamentos em diferentes condições de sítio. Esses resultados são relevantes para estratégias de manejo e recomendação de práticas culturais específicas para cada tipo de ambiente.

Pode-se observar que existem duas respostas das variedades aos ambientes. No PLANOSSOLO NÁTRICO de Riachão, obteve-se um rendimento menor ou igual a 1500 kg ha^{-1} de MS, enquanto que no LUVISSOLO CRÔMICO de Condado foi maior que $3500 \text{ kg de MS ha}^{-1}$. Observando às condições de fertilidade dos solos (Tabela 1) verifica-se que não há grandes diferenças entre as condições de fertilidade de ambos os campos experimentais. Hiposteniza-se que as diferenças de rendimentos estariam associadas a condições ambientais, tais como temperatura, umidade relativa do ar, precipitação, altitude e relevo. Isto contraria o consenso acadêmico de que o ambiente mais propício para o cultivo de palma seria aquele que possui altitudes e umidade relativa do ar mais elevadas e temperaturas mais amenas ($25\text{-}30 \text{ C}^\circ$) (Silva; Souza, 2020).

Assim, as condições climáticas do Sertão são vistas como não favoráveis para o cultivo da palma. Destaca-se que o relevo teve influência determinante no rendimento ao verificar os valores médios entre os municípios. Enquanto em Condado-PB o relevo era suave e solo mais homogêneo, em Riachão-PB a área experimental apresentava relevo mais acidentado. Em campo, verificou-se que a palma não apresentou um desenvolvimento homogêneo, observando-se que na parte inferior do terreno, onde o solo era mais profundo, a palma desenvolveu mais do que na parte acima da encosta, onde o solo era mais raso.

Os resultados obtidos na pesquisa indicaram que após o acúmulo de matéria seca as três variedades de palmas forrageiras, em ambos os solos de Condado e Riachão não apresentaram diferenças no aspecto da fertilização (Tabela 3 e 4), apesar da AP, NC e teor de MS, terem apresentado comportamento diferentes entre elas. Pois, espera-se maior produtividade que quanto maior o NC e teor MS (Alves *et al.*, 2021; Dubeux Júnior; Santos, 2005).

Da mesma forma, os tipos de fertilização nas doses aplicadas não influenciaram de forma significativa a produtividade, exceto no campo de Riachão onde a AM, foi superior aos outros tratamentos de fertilização. Em média as Palmas produziram 3,7 e 1,4 Mg ha⁻¹ de MS no TC de Condado e SN de Riachão, respectivamente. Esses níveis de produtividade assemelham-se aqueles obtidos por Menezes et al., 2005a, em campos menos produtivos, os quais tiveram produtividade média de 1,8 Mg ha⁻¹ matéria seca. Por outro lado, estão bem abaixo daqueles obtidos com variedade IPA-20 *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. em campos mais produtivos, cuja produtividade pode chegar até 20 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ de MS (Menezes et al., 2005a).

O pequeno efeito dos tratamentos de fertilização sobre as produtividades das palmas é bem provável que esteja associado à baixa fertilidade dos solos (Tabela 1) e a baixa precipitação no período, observa-se que apesar do elevado valor de saturação de bases (V%) > que 85%, associado especialmente aos elevados valores de Ca, os solos apresentam baixos valores de P (de 8,0 a 10,0 mg kg⁻¹ de solo). No mesmo sentido os teores de C oscilaram de 1,0 g kg⁻¹ a 2,0 g kg⁻¹. Esses valores de P e C, sob qualquer condição e tipo de manejo que seja adotado são considerados muito baixos (Tomé Júnior, 1997). Menezes et al., (2005b) analisando a produtividade de palma forrageira, constataram que dentre as variáveis de fertilidade do solo, o nível de P disponível foi a variável que apresentou maior correlação com a produtividade de matéria seca.

Adicionalmente, de acordo com a literatura, conforme destacado por Sasabuchi et al., (2023) a baixa disponibilidade de fósforo, elemento essencial para processos energéticos e crescimento radicular de todas as plantas, pode ter limitado a resposta das plantas, mesmo na presença dos fertilizantes utilizados.

Além disso, é evidente os registros consecutivos de estiagem. O total anual de precipitação após o ano de instalação do experimento foi de 518,4 mm e término das análises do experimento foi de 395,0 mm, em Condado-PB. Para o município de Riachão-PB foi de 514,9 mm e 333,2 mm, respectivamente. Isto é particularmente determinante nos agroecossistemas da Região Semiárida que funcionam de acordo com os pulsos de disponibilidade de recursos, controlados fortemente pela disponibilidade de água (Menezes et al., 2005b; Santos; Perez-Marin; Sarmiento, 2018).

4 CONCLUSÃO

O estudo demonstrou que a resposta produtiva e morfológica de genótipos de palma forrageira no semiárido paraibano é fortemente condicionada pelas classes de solo, com maior desempenho no LUVISSOLO CRÔMICO em comparação ao PLANOSSOLO NÁTRICO.

As fontes de fertilização, nas condições avaliadas, apresentaram efeito limitado sobre a produtividade, sendo mais expressivas em ambientes restritivos. Entre os genótipos, a variedade Miúda destacou-se em atributos morfológicos, enquanto a Orelha de Elefante apresentou maior adaptabilidade ambiental.

As respostas das variedades às quanto as fontes de fertilização (orgânica, mineral e mista) não foram consistentes, indicando que não houve padrão claro de resposta às estratégias nutricionais adotadas. Assim, estratégias de manejo nutricional

devem ser ajustadas prioritariamente às condições edafoclimáticas locais, visando maior eficiência produtiva.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Química e Fertilidade do Solo, do Departamento de Solos e Engenharia Rural, do Centro de Ciências Agrárias da UFPB, e ao INSA/MCTI.

REFERÊNCIAS

ALVES, C. P.; SOUZA, L. S. B.; MANIÇOBA, A. R. F. J.; ARAÚJO JÚNIOR, G. N.; PINHEIRO, A. G.; SALVADOR, K. R. S.; SILVA, G. I. N.; SILVA, T. G. F. Resiliência agrícola no cultivo consorciado palma-sorgo em ambiente semiárido: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 7, p. 3932-3952, 2021. DOI:

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.7.p3932-3952>

ARAUJO, J. F.; GADÉA, A.; SOUZA, A. C.; COHIM, E. Dimensões ótimas da cisterna-calçadão no semiárido: agricultura e pecuária. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 28, n. e20220136, p. 1-8, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220220136>

ARAUJO, J. S.; PEREIRA, D. D.; LIRA, E. C.; FÉLIX, E. S.; SOUZA, J. T. A.; LIMA, W. B. **PALMA FORRAGEIRA: Plantio e Manejo**. 1.ed. Campina Grande: INSA, 2019. 60p.

BARROS, J. L.; DONATO, S. L. R.; GOMES, V. M.; DONATO, P. E. R.; SILVA, J. A.; PADILHA JÚNIOR, M.C. Palma forrageira ‘gigante’ cultivada com fertilização orgânica. **Revista Agrotecnologia**, v. 7, n. 1, p. 53-65, 2016. DOI: <https://doi.org/10.12971/5051>

BRITO, C. F. B.; DONATO, L. R.; ARANTES, A. M.; SILVA, J. A.; DONATO, P. E. R.; SANTOS, A. J. Eficiência fotoquímica em cladódios de palma forrageira ‘Gigante’ cultivada sob diferentes espaçamentos e fertilização mineral. **Nativa**, v. 9, n. 3, p. 254-259, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i3.10587>

DINIZ, R. R. S.; ALENCAR, M. L. S.; MEDEIROS, S. A.; GUERRA, H. O. C.; SALES, J. C. R. Índice de anomalia de chuvas da Microrregião do Cariri Ocidental Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2628-2640, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2628-2640>

DUBEUX JÚNIOR, J.C.B.; SANTOS, M.V.F. Exigências nutricionais da palma forrageira. In.: MENEZES, R.S.C.; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. **A palma no Nordeste do Brasil: Conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Ed., Universitária da UFPE, 2005, 105-127 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análises de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230p.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Brasília, DF, Embrapa, 353 p. 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529–535, 2019.

GUIMARÃES, B. V. C.; DONATO, S. L. R.; AZEVEDO, A. M.; ASPIAZÚ, I.; SILVA JÚNIOR, A. A. Prediction of ‘Gigante’ cactus pear yield by morphological characters and artificial neural networks. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, p. 315-319, 2018.

HILDEBRAND, P.E.; RUSSEL, J. T. **Adaptability analysis: a method for the design, analysis and interpretation of on-farm research extension**. University of Florida. 1996. 52p.

MANIÇOBA, R. M.; SOBRINHO, J. E.; ZONTA, J. H.; CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. K.; FREITAS, I. A. S. Resposta do algodoeiro à supressão hídrica em diferentes fases fenológicas no semiárido brasileiro. **Irriga**, v. 26, n. 1, p. 123-133, 2021. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v26n1p123-133>

MENEZES, R.S.C.; D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. **A palma no Nordeste do Brasil: Conhecimento atual e novas perspectivas de uso**. Recife: Ed., Universitária da UFPE, 2005.

MENEZES, R.S.C.; SAMPAIO, E.V.S.B.; SALCEDO, I.H.; SOUZA, F.J. **Produtividade da Palma em propriedades rurais**. In: MENEZES, R.S.C.; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. *A palma no Nordeste do Brasil: Conhecimento atual e novas perspectivas de uso*. Recife: Ed., Universitária da UFPE, 2005, 129-138 p.

RAMOS, J. P. F.; CAVALCANTE, I. T. R.; SOUSA, W. H.; LEITE, M. L. M. V. Caracterização da base alimentar de caprinos e ovinos no Cariri paraibano. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 15, n. 4, p. 379-384, 2020. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v15i4.7799>

ROCHA FILHO, R. R.; SANTOS, D. C.; VÉRAS, A. S. C.; SIQUEIRA, M. C. B.; NOVAES, L. P.; LUNA, R. M.; MONTEIRO, C. C. F.; FERREIRA, M. A. Can spineless forage cactus be the queen of forage crops in dryland areas?. **Journal of Arid Environments**, v. 186, n. (e104426), p. 1-8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2020.104426>

ROCHA, J. E. S. **Palma forrageira no Nordeste do Brasil : o estado da arte**. Dados eletrônicos. — Sobral : Embrapa Caprinos e Ovinos, 2012. 40 p. : il. — (Documentos / Embrapa Caprinos e Ovinos, ISSN 1676- 7659 ; 106).

SÁ, M. K. N.; ANDRADE, A. P.; MAGALHÃES, A. L. R.; VALENÇA, R. L.; CAMPOS, F. S.; ARAÚJO, F. S.; ARAÚJO, G. G. L. Silagem de palma forrageira com *Gliricidia sepium*: alternativa alimentar para o Semiárido. **Society and Development**, v. 10, n. 2, p. 1-12, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i2.12473>

SANTANA, M. A.; SOUZA, V. A. P.; SERPA, M. F. P.; LEDO, A. A.; MENEZES, A. S. Efeito de doses de fertilização orgânica na produção de palma forrageira. **Nativa**, v. 9, n. 2, p. 167-172, 2021. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v9i2.10655>

SANTOS, D. C.; LIRA, M. A.; DUBEUX JÚNIOR, J. C. B.; SANTOS, M. V. F.; MELLO, A. C. L. Recomendação de adubação para a palma forrageira. In: CAVALCANTI, F. J. A. (ed.) **Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2ª Aproximação**. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco, 2008, p. 178.

SANTOS, A. F.; PEREZ-MARIN, A. M.; SARMENTO, M. I. A. Produtividade da palma forrageira em aleias com *Gliricidia sepium* sob adubação orgânica em diferentes espaçamentos no Semiárido. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 3, p. 276-281, 2018. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v13i3.5740>

SASABUCHI, I. T. M.; KRIEGER, K. S.; NUNES, R. S.; FERREIRA, A. C.; XAVIER, G. T. M.; URZEDO, A. L.; CARVALHO, W. A.; FADINI, P. S. Sustentabilidade no uso de fósforo: uma revisão bibliográfica com foco na situação atual do estado de São Paulo, Brasil. **Quim. Nova**, v. 46, n. 2, p. 185-198, 2023. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170967>

SILVA, A. P.; SOUZA, P. A. Zoneamento agroclimático para produção da Palma Forrageira no semiárido. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 4, p. 20048-20057, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-251>

SILVA, E. C. B.; LIMA, J. R. S.; ANTONINO, A. C. D.; MELO, A. A. S.; SOUZA, E. S.; SOUZA, R. M. S.; SILVA, V. P.; OLIVEIRA, C. L. Efeito da Irrigação Suplementar na Produtividade e Eficiência no Uso de Água da Palma Forrageira. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2744-2759, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2744-2759>

SIMÕES, D.A.; SANTOS, D.C.; DIAS, F.M. **Introdução da palma forrageira no Brasil**. In.: MENEZES, R.S.C.; SIMÕES, D.A.; SAMPAIO, E.V.S.B. A palma no Nordeste do Brasil: Conhecimento atual e novas perspectivas de uso. Recife: Ed., Universitária da UFPE, 2005.

TOMÉ JÚNIOR, J. B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.