

ESTADO NUTRICIONAL DO CAPIM ELEFANTE IRRIGADO COM DOSES DE EFLUENTES DA AQUICULTURA *

Cícero Luiz Câmara Júnior¹, Mateus Pessoa Caminha², Felipe Ferreira Coelho³, Rafael Oliveira Batista⁴, Stefeson Bezerra de Melo⁵, Luís César de Aquino Lemos Filho⁶

RESUMO: O uso de efluentes tratados da aquicultura na irrigação de forrageiras pode reduzir a demanda por água potável e fornecer nutrientes às plantas. Este trabalho avaliou o estado nutricional da cultura do capim elefante irrigada com doses de efluentes da aquicultura (EA) e água de abastecimento (AB), empregando-se a técnica de análise multivariada. O experimento foi conduzido na Unidade Experimental de Reuso de Água (UERA), da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Campus Mossoró-RN. O delineamento experimental foi realizado em blocos casualizados, com cinco tratamentos (100% EA, 75% EA + 25% AB, 50% EA + 50% AB, 25% EA + 75% AB e 100% AB - testemunha), cinco blocos e cinco repetições. Analisaram-se os nutrientes N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe, Mn e Zn no tecido vegetal do capim elefante. Realizou-se análise de componentes principais, análise de agrupamento e análise fatorial. Os resultados indicaram que as doses de efluente influenciaram o acúmulo de macro e micronutrientes, com destaque para o tratamento T₃ (50% EA + 50% AB), que apresentou melhor equilíbrio nutricional, garantindo adequada disponibilidade de nutrientes, configurando-se como a opção mais eficiente para as condições avaliadas.

PALAVRAS-CHAVE: tratamento e manejo de efluente. legislação ambiental. *Pennisetum purpureum Schumach.*

* Trabalho extraído de pesquisa de pós-doutorado de Cícero Luiz Câmara Júnior, Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semiárido – UFERSA, Mossoró–RN, 2025.

¹ Pós-doutor em Manejo de Solo e Água, UFERSA, Mossoró, RN

² Mestrando em Manejo de Solo e Água, UFERSA, CEP 59625-900, Mossoró, RN. Fone (88) 9 9971-9974. e-mail: mateus.caminha@alunos.ufersa.edu.br.

³ Graduando em Agronomia, UFERSA, Mossoró, RN.

⁴ Prof. Doutor, Centro de Engenharias, UFERSA, Mossoró, RN.

⁵ Prof. Doutor, Depto de Ciências Exatas e Tecnologia da Informação, UFERSA, Angicos, RN.

⁶ Prof. Doutor, Centro de Engenharias, UFERSA, Mossoró, RN.

NUTRITIONAL STATUS OF ELEPHANT GRASS IRRIGATED WITH AQUACULTURE EFFLUENTS

ABSTRACT: The use of treated aquaculture effluents in forage irrigation can reduce the demand for drinking water and provide nutrients to plants. This study evaluated the nutritional status of elephant grass irrigated with doses of aquaculture effluents (AE) and supply water (SW), using multivariate analysis techniques. The experiment was conducted at the Water Reuse Experimental Unit (UERA) of the Federal Rural University of the Semi-Arid Region (UFERSA), Mossoró-RN Campus. The experimental design was randomized blocks, with five treatments (100% AE, 75% AE + 25% SW, 50% AE + 50% SW, 25% AE + 75% SW, and 100% SW - control), five blocks, and five replicates. The nutrients N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe, Mn, and Zn were analyzed in the plant tissue of elephant grass. Principal component analysis, cluster analysis, and factor analysis were performed. The results indicated that the effluent doses influenced the accumulation of macro and micronutrients, with emphasis on treatment T₃ (50% EA + 50% AB), which presented the best nutritional balance, ensuring adequate nutrient availability, and was the most efficient option for the conditions evaluated.

KEYWORDS: effluent treatment and management. environmental legislation. *Pennisetum purpureum Schumach.*

INTRODUÇÃO

O uso sustentável dos recursos naturais, especialmente do solo e da água, é cada vez mais relevante diante do aumento das atividades antrópicas; cresce também a preocupação com a destinação adequada de resíduos sólidos e líquidos, como o percolado de aterros sanitários (MANGIERI & TAVARES FILHO, 2015). As águas residuárias da aquicultura, quando lançadas sem tratamento, podem causar poluição química e microbiológica da água e do solo, além da bioacumulação de metais pesados em espécies da fauna e flora. Por outro lado, resíduos líquidos tratados, que atendam à legislação vigente, podem ser utilizados na agricultura, recuperação de áreas degradadas ou fins florestais.

Os efluentes líquidos, mesmo tratados e manejados adequadamente, devem ser monitorados por análises físico-químicas e microbiológicas, ajustando-se as doses aplicadas conforme a legislação vigente. A falta de controle, pode acarretar problemas ambientais, tanto no solo, como no tecido vegetal das plantas e no meio ambiente. É importante destacar que o

tratamento de esgoto e a disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários geram diversos impactos ambientais impulsionados pela poluição hídrica, do solo, da atmosfera e sonora.

A avaliação do estado nutricional das culturas irrigadas com resíduos líquidos é essencial para verificar o acúmulo de nutrientes e os possíveis riscos à saúde humana e animal. O capim elefante (*Pennisetum purpureum Schumach*) é uma espécie das forrageiras mais importantes no mundo, por apresentar custo baixo, fácil manejo, boa produção de matéria seca, vigor e persistência; possui, ainda, vias metabólicas do grupo C4, possuindo boa capacidade de fixação do CO₂ atmosférico, podendo produzir até 300 toneladas de matéria verde por hectare (CHAVES et al., 2013; PEREIRA et al., 2017).

A análise multivariada de dados representa uma ferramenta importante que possibilita verificar o efeito de vários tratamentos interferindo em diversos fatores, acarretando assim uma melhor precisão dos dados, diminuindo os erros experimentais tanto de campo, quanto de laboratório, indicando assim a alternativa ambientalmente correta e segura a ser escolhida.

Diante ao exposto, objetivou-se com este trabalho, avaliar os efeitos da aplicação de doses de efluentes da aquicultura, no estado nutricional do capim elefante, empregando-se a técnica da análise multivariada de dados.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado com a cultura do capim elefante (*Pennisetum purpureum Schumach*) na Unidade Experimental de Reúso de Água (UERA), localizada próximo ao Centro de Pesquisa em Aquicultura e Pesca Sustentável do Semiárido (CEPAS), da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), campus Leste, situado na cidade de Mossoró-RN, sob as coordenadas geográficas que distam 5° 12' 30'' S e 37° 19'08'' 40'' W.

O solo da UERA foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico (SANTOS et al., 2018). A classificação de Köppen indica que o clima da região é do tipo BSh (clima seco, muito quente e com estação chuvosa no verão atrasando-se para o outono), precipitação pluviométrica média anual de 794 mm, sendo a mesma bastante irregular, temperatura do ar média de 26,5°C e umidade relativa média de 68,9 % (ALVARES et al., 2013).

O delineamento experimental adotado foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos constaram da irrigação com água de poço (AP) obtida pela

evapotranspiração da cultura (ETc), mais doses de efluente da aquicultura (EA): T₁ - 100 % da ETc com AP, T₂ - 100 % da ETc com AP mais dose de EA de 1 L m⁻²; T₃ - 100 % da ETc com AP mais dose de EA de 2 L m⁻²; T₄ - 100 % da ETc com AP mais dose de EA de 3 L m⁻² e T₅ - 100 % da ETc com AP mais dose de EA de 4 L m⁻², baseado no trabalho de Silva (2008). O experimento abrangeu área de 64 m², composta por 25 parcelas de 1 m² cada, plantadas com dois colmos de capim-elefante por parcela, com espaçamento de 0,5 m entre parcelas.

Na Tabela 1 estão apresentados os valores dos atributos físico-químicos das diluições de efluente da aquicultura em água de abastecimento caracterizados no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) da UFERSA seguindo as metodologias de análises da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA (ALMEIDA, 2010).

Tabela 1. Atributos físico-químicos das diluições de efluente da aquicultura em água de abastecimento.

Atributos	T1	T2	T3	T4	T5
pH	7,47	7,65	7,67	7,71	7,80
CE (dS m ⁻¹)	0,60	3,03	5,06	6,89	9,01
Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,66	6,60	10,00	13,80	24,50
Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,52	13,70	29,50	39,80	48,50
K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	0,19	0,47	0,83	1,08	1,28
Fe (mg L ⁻¹)	<0,001	<0,001	0,011	0,036	0,049
Mn (mg L ⁻¹)	<0,001	0,001	0,006	0,024	0,038
Cu (mg L ⁻¹)	<0,001	<0,001	0,002	0,003	0,013
Zn (mg L ⁻¹)	<0,001	<0,001	0,027	0,021	0,031

Nota: CE – Condutividade elétrica das diluições; T1 – Somente água de abastecimento (AA), T2 – 75% de AA e 25% de efluente da aquicultura (EA), T3 - 50% de AA e 50% de EA, T4 – 25% de AA e 75% de EA, e T5 – Somente EA.

Aos 132 dias após o plantio, coletaram-se folhas do capim elefante, armazenadas em sacos de papel, secas em estufa de circulação forçada a 65°C por 72 h, realizando-se medição da biomassa seca a cada 24 h até atingir peso constante. As amostras foram moídas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 40 mesh, visando à obtenção de material de pequena granulometria e homogêneo (PRADO, 2008).

Para a extração dos nutrientes do tecido vegetal (N, P, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Fe, Mn e Zn) utilizou-se a digestão empregando-se micro-ondas como fonte de calor e ácido nítrico na digestão da matéria seca (FERREIRA, 2014). Deve-se ressaltar que os métodos de análises dos nutrientes nos extratos provenientes da digestão foram realizados conforme as recomendações da EMBRAPA (SILVA, 2009).

Os dados de teores foliares foram submetidos à análise multivariada, empregando matriz de correlação de Pearson ($p \leq 0,05$), Análise de Componentes Principais (ACP), Análise de Agrupamento (AA) e Análise Fatorial (AF), utilizando o Software Statistica, versão 14.0 (STATSOFT, 2020).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2 apresenta a matriz de correlação dos dados de macronutrientes e micronutrientes no tecido vegetal do capim elefante. Observa-se elevada correlação entre zinco e manganês, manganês e ferro, magnésio e fósforo, bem como cálcio e fósforo. As menores correlações foram registradas entre potássio e manganês, nitrogênio e magnésio, além de cálcio e potássio.

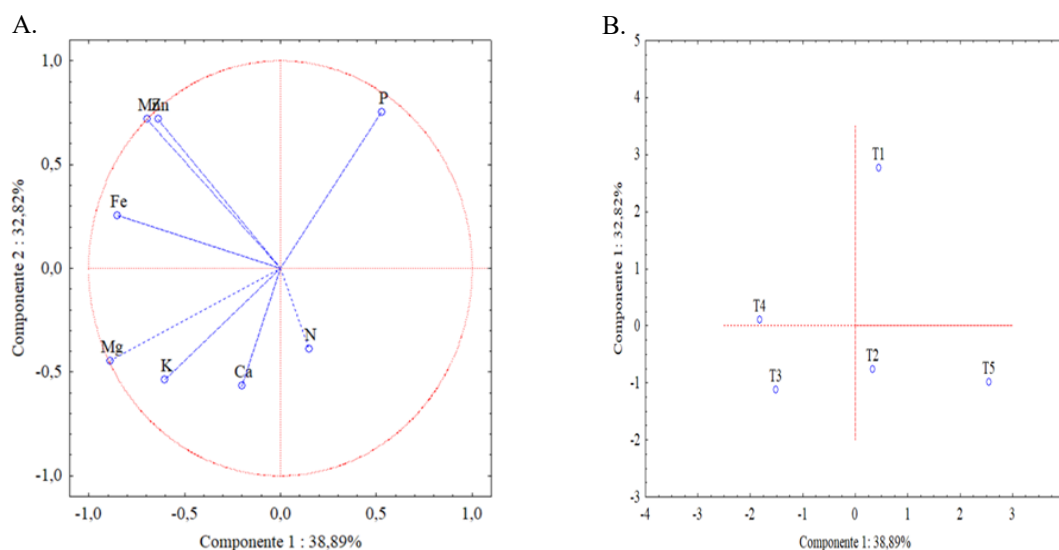
Tabela 2. Matriz de correlação linear simples de dados de macro e micronutrientes do tecido vegetal da cultura do capim elefante.

	N	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Fe	Mn	Zn
N	1,00							
P	0,13	1,00						
K ⁺	0,51	-0,61	1,00					
Ca ²⁺	-0,43	-0,75	-0,03	1,00				
Mg ²⁺	0,06	-0,78	0,74	0,46	1,00			
Fe	0,15	-0,08	0,48	-0,18	0,68	1,00		
Mn	-0,37	0,18	0,05	-0,29	0,29	0,78	1,00	
Zn	-0,62	0,10	-0,10	-0,12	0,23	0,60	0,96	1,00

Nota: Números em vermelho, são valores significativos no nível de significância a 0,05 (teste bicaudal).

Fonte: Dados da pesquisa do autor (2024).

Nas Figuras 1A, e 1B estão apresentadas, respectivamente, a distribuição das variáveis, no círculo de correlações e a distribuição dos tratamentos no plano representando a relação entre os componentes principais 1 e 2 do tecido vegetal do capim elefante.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 1. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos (B), representando a relação entre as Componentes 1 e 2.

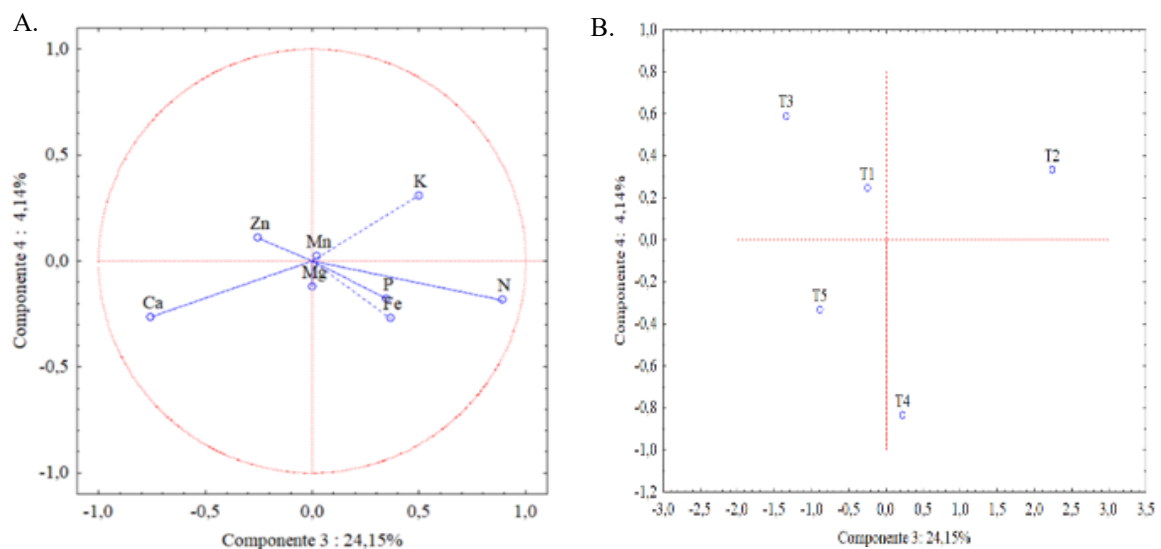
Verificou-se, na Figura 1A, que os elementos foram mais representativos nos quadrantes 2 e 3 do plano cartesiano. O componente 1 explica 38,89% da variação total, com destaque para cálcio e nitrogênio. Já para o componente 2 tem-se 32,82% de explicação da variação total dos dados, com manganês e magnésio possuindo grande relevância.

A Figura 1B revela que os tratamentos estão dispostos em todos os quadrantes do plano cartesiano. Entre eles, destaca-se o quarto quadrante, que concentra a maior quantidade de elementos.

Os tratamentos T₂, T₃ e T₅ possuem valores semelhantes, enquanto T₁ e T₄ se destacaram por comportamentos distintos. O Tratamento T₁ encontra-se polo oposto ao tratamento T₂. Os tratamentos T₁ e T₅ encontram-se em polos opostos, o que pode ser explicado pela diferença entre seus tratamentos, pois T₁ não possui resíduo, enquanto que T₅ possui a maior dose de efluente da Aquicultura.

O tratamento T₁ apresentou maior associação com o elemento fósforo, enquanto que T₂ esteve relacionado principalmente ao nitrogênio. O T₃ destacou-se pela forte ligação com magnésio, potássio e cálcio, evidenciando um equilíbrio na absorção desses macronutrientes. Já os tratamentos T₄ e T₅ não apresentaram associação expressiva com nenhum dos elementos analisados, indicando menor influência específica sobre o perfil nutricional do capim-elefante.

As Figuras 2A, e 2B apresentam, respectivamente, a distribuição das variáveis, no círculo de correlações e a distribuição dos tratamentos no plano representando a relação entre os componentes principais 3 e 4 do tecido vegetal do capim elefante.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

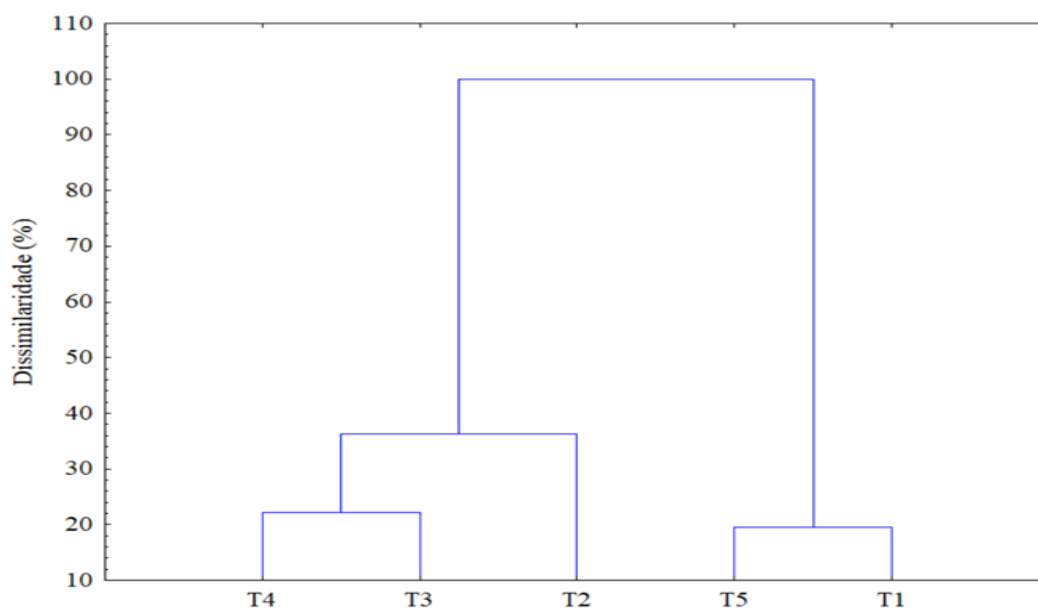
Figura 2. Distribuição das variáveis no círculo de correlações (A) e distribuição da nuvem de pontos (B), representando a relação entre as Componentes 3 e 4.

Na Figura 2A, os elementos ocuparam todos os quadrantes do plano cartesiano, destacando a posição central do plano com concentração dos elementos. O componente 3 explica 24,15% da variação total, possuindo ênfase em nitrogênio. Já para o componente 4 tem-se 4,14% de explicação da variação total dos dados, com relevância para o cálcio.

Na Figura 2B, pode-se constatar que os tratamentos T₁ e T₅ encontram-se em polos opostos, o que pode ser explicado pela diferença entre seus tratamentos, pois T₁ não apresenta água produzida, enquanto que T₅ é detentor da maior concentração do efluente. O tratamento T₂ está mais associado ao potássio, enquanto que T₅ obteve maior ligação com o cálcio. Os demais, não apresentaram associação com os outros elementos.

O dendograma da Figura 3 mostrou a formação de dois grupos: o Grupo 1 representado pelos tratamentos T₁ e T₅, onde a dose de efluente proporcionou níveis de macro e micronutrientes no tecido foliar semelhantes aos da testemunha que recebeu somente água de poço e o Grupo 2 formado por T₂, T₃ e T₄, onde houve semelhança no armazenamento de macronutrientes e micronutrientes no tecido foliar em função dos aportes das doses efluente da aquicultura.

Verificou-se que os tratamentos T₁ e T₅ e T₂, T₃ e T₄ formaram grupos de ligações, enquanto o tratamento sem dose do resíduo T₁ se apresentara distante, evidenciando, assim, baixa semelhança, em detrimento do menor aporte de macronutrientes e micronutrientes no tecido foliar causado pelo efluente da aquicultura.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Figura 3. Dendrograma vertical da análise de agrupamento de macro e micronutrientes no tecido vegetal do capim elefante por meio da distância euclidiana utilizando o método de Ward.

Os resultados corroboram com o trabalho de Câmara Júnior (2022), com capim elefante produzido com doses de percolado de aterro mais lâminas de água de poço, em que houve incremento significativo de nitrogênio, fósforo, potássio, ferro, manganês e zinco no tecido foliar, quando as doses de percolado de aterro sanitário aumentaram.

De acordo com Furtado (2015), a aplicação de água residuária proveniente da piscicultura resultou em melhorias na composição bromatológica do capim Tifton 85, corroborando os achados desta pesquisa. Segundo resultados encontrados por Ferreira (2022), a salinidade do efluente da piscicultura aumentou os teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe, Mn e Zn nos tecidos vegetal, corroborando com os resultados encontrados neste trabalho.

Constam, na Tabela 3, as cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo método Varimax, extraídos por componentes principais, destacando-se os micronutrientes e macronutrientes com cargas superiores a 0,70. Constatou-se que o Fator 1 explicou 38,89% da variação total dos dados, o Fator 2 foi responsável por 32,82% da variabilidade dos dados e o Fator 3 por 24,15% da variabilidade total dos dados.

Empregou-se o critério de Kaiser (1960), onde notou-se que foram retidos três autovalores maiores que 1,00, para aplicação do método Varimax e que a variância total acumulada foi de 95,86%, demonstrando assim uma explicação aceitável dos dados.

Tabela 3. Cargas fatoriais após rotação ortogonal pelo método Varimax, extraídos por componentes principais, destacando-se os micro e macro nutrientes com cargas superiores a 0,70 (em módulo).

Variáveis	Cargas fatoriais		
	Fator 1	Fator 2	Fator 3
N	-0,28	-0,35	-0,87
P	-0,97	0,06	0,18
K^+	0,42	0,14	-0,84
Ca^{2+}	0,88	-0,20	0,35
Mg^{2+}	0,77	0,42	-0,46
Fe	0,10	0,83	-0,48
Mn	-0,11	0,99	0,06
Zn	0,00	0,94	0,31
Autovalores	3,11	2,63	1,93
Variância Total (%)	38,89	32,82	24,15
Variância Acumulada (%)	38,89	71,71	95,86

Nota: Valores em vermelho indicam cargas fatoriais com magnitude superior a 0,70 (em módulo), representando forte associação da variável ao fator correspondente.

Fonte: Dados da pesquisa do autor (2024).

Em relação às cargas fatoriais, constatou-se que o fósforo, cálcio e magnésio apresentaram as maiores correlações em relação ao Fator 1. Com relação ao Fator 2, verificou-se que o elemento que apresentou maior correlação foi o manganês, seguido de zinco e ferro.

Já em relação ao Fator 3, constatou-se que o elemento que se apresentou mais significativo foi o nitrogênio seguido de potássio.

A análise das cargas fatoriais evidenciou que o Fator 2 apresentou maior associação com os micronutrientes, ao passo que os Fatores 1 e 3 foram principalmente influenciados pelos macronutrientes, sendo estes os responsáveis pela maior parcela da explicação da variabilidade observada.

CONCLUSÕES

A irrigação do capim-elefante com efluentes da aquicultura influenciou significativamente a acumulação de macro e micronutrientes no tecido vegetal, com destaque para os tratamentos que receberam combinações intermediárias de água de abastecimento e efluente. Entre eles, o tratamento T3 (50% EA + 50% AB) apresentou o melhor equilíbrio nutricional, favorecendo a disponibilidade de nutrientes essenciais, configurando-se como a opção mais adequada para as condições avaliadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O. A. de. (2010). Qualidade da água de irrigação. Embrapa Mandioca e Fruticultura. Disponível em:

<https://www.bibliotecaagptea.org.br/agricultura/irrigacao/livros/QUALIDADE%20DA%20AGUA%20DE%20IRRIGACAO.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2025.

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

CÂMARA JÚNIOR, CÍCERO LUIZ. **Avaliação do Estado Nutricional de Culturas Irrigadas com Doses de águas Residuárias no Semiárido Nordeste.** / Cicero Luiz Câmara Júnior. -- Mossoró, 2022.118 f.: il.

CHAVES, C. S.; GOMIDE, C. A. M.; RIBEIRO, K. G.; PACIULO, D. S. C.; LEDO, F. J. S.; COSTA, I. D. E. A.; CAMPANA, L. L. Forage production of elephant grass under intermitente stocking. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 48, n. 2, p. 234-240 2013.

FERREIRA, A. K. C. **Avaliação de métodos de análises químicas de nutrientes em tecido vegetal**. Mossoró: UFERSA, 2014. 88p. Tese Doutorado.

FERREIRA, D.A. DA C. **Crescimento, produção e qualidade de cultivares de Panicum maximum irrigadas com efluente da piscicultura**. Tese de Doutorado na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), 2022, 65f.: il.

FURTADO, F.M.V. **Características do solo, crescimento e composição química do Capim Tifton sob adubação e irrigação com água residuária da Piscicultura**. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Ceará (UFC), 2015, 61 f.: il.

KAISER HF. The Application of Electronic Computers to Factor Analysis. **Educational and Psychological Measurement**. 1960; 20(1):141-151. doi:10.1177/001316446002000116.

MANGIERI, V. R. L.; TAVARES FILHO, J. Disposição de resíduos sólidos no solo: efeito nos atributos físicos, químicos e na matéria orgânica. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 36, n. 2, p.747-764, 2015.

PEREIRA, A. V.; LÉDO, F. J. S.; MACHADO, J. C; BARBOSA, S. BRS Kurumi and BRS Capiapu - New elephant grass cultivars for grazing and cut-and-carry system. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 17, n. 1, p. 59-62, 2017.

PRADO, R. M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal: FUNESP, 2008. 500p.

SANTOS H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. Á.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; 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: Embrapa, 2018. 356 p

SILVA, D. F. **Efeito da aplicação de percolado de resíduo sólido urbano em solo cultivado com capim-tifton 85**. Viçosa, MG: UFV. 2008. 148 f. Tese Doutorado.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2.ed. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 627p.

STATSOFT Inc. 2020. Statistica: data analysis software system, version 14. Tulsa. Disponível em <http://www.statsoft.com/>. Acesso em: 17 out. 2021.