



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

FRANCIMAR MAIK DA SILVA MORAIS

**USO DE ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO SINTÉTICA NA IRRIGAÇÃO
DA *MORINGA OLEIFERA* LAM: IMPACTOS NO SOLO E NA PLANTA**

Mossoró

2022

FRANCIMAR MAIK DA SILVA MORAIS

**USO DE ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO SINTÉTICA NA IRRIGAÇÃO
DA *MORINGA OLEIFERA* LAM: IMPACTOS NO SOLO E NA PLANTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Linha de Pesquisa: Tecnologias em nutrição de plantas e soluções para a convivência com seca e salinidade.

Orientador: Prof. Dr. José Francismar de Medeiros

Mossoró
2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M827u Morais, Francimar Maik da Silva.

USO DE ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO SINTÉTICA NA
IRRIGAÇÃO DA MORINGA OLEIFERA LAM: IMPACTOS NO
SOLO E NA PLANTA / Francimar Maik da SilvaMorais. - 2022.
100 f. : il.

Orientador: José Francimar de Medeiros.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa
de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2022.

1. resíduo industrial. 2. reúso agrícola. 3. impacto. 4. solo. 5. planta. I.
Medeiros, José Francimar de, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e
os dados fornecidos pelo autor(a).

Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência

Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva

CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

FRANCIMAR MAIK DA SILVA MORAIS

**USO DE ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO SINTÉTICA NA IRRIGAÇÃO
DA MORINGA OLEIFERA LAM: IMPACTOS NO SOLO E NA PLANTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de “Mestre em Manejo de Solo e Água”.

Linha de Pesquisa: Tecnologias em nutrição de plantas e soluções para a convivência com seca e salinidade.

Defendida em: 25/05/2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Francismar de Medeiros – Orientador
UFERSA



Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista – 1º Membro
UFERSA



Prof. Dr^a. Ruza Gabriela Medeiros de Araújo Macedo – 2º Membro
UFERSA



Dr^a. Fabícia Gratyelli Bezerra Costa Fernandes – 3º Membro
Membro Externo

“Consagre ao Senhor tudo o que você faz, e os seus planos serão bem-sucedidos”.
Provérbios 16:3

“O temor do Senhor é o princípio da sabedoria”. Provérbios 9:10

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

A Deus, que é Senhor e Guia de todos os meus passos, ao qual sem a sua presença em minha vida eu não saberia o que fazer e nem para onde ir.

À minha família, pessoas que sempre me apoiaram e foram presentes na minha educação.

À minha esposa, Simone Cintia, pessoa que mais me ouviu e me ajudou nos momentos difíceis. Obrigado pelo ombro amigo e por todo o amor que me dedicou em todo o tempo.

Ao Prof. Dr. José Francismar de Medeiros, por ter me orientado no mestrado, com dedicação e atenção, deste modo, sendo responsável pela conclusão de mais este ciclo da minha vida.

Ao Prof. Dr. Rafael Oliveira Batista, por estar solícito sempre que precisei.

Aos colegas que me auxiliaram durante os procedimentos experimentais: José Pereira, Elidayane Nobrega, Leonardo Vieira, Carla Jamile e em especial Gabriela Carvalho e Rodrigo Rafael.

Aos colegas do PPGMSA que de alguma forma compartilhamos conhecimentos e descontrações nas poucas horas vagas.

Ao PPGMSA por todo o suporte, em especial nas pessoas de Prof. Dr. Luiz César e Prof. Dr. Daniel Valadão.

Ao Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis- PRH-ANP, suportando com recursos provenientes do investimento de empresas petrolíferas qualificadas na Cláusula de P, D&L da Resolução ANP nº 50/2015, por todo apoio financeiro ao projeto.

Ao PRH 55.1- UFERSA, nas pessoas do Prof. Dr. Frederico do Carmo, Prof. Dr. Fábio Fagundes e Prof. Dr^a. Ruza Gabriela.

Aos colegas bolsistas do PRH 55.1- UFERSA.

RESUMO

A região semiárida é caracterizada pela baixa disponibilidade de água, sendo importante o estudo de estratégias de utilização de águas residuais para irrigação de campos agrícolas. A água produzida do petróleo (AP) representa um dos maiores desafios da indústria petrolífera, podendo, quando tratada e diluída, ter grande importância na sua utilização para irrigação agrícola, reduzindo, desta forma, os efeitos negativos do seu descarte. A *Moringa oleífera* Lam. é uma cultura que pode resistir a diversas condições ambientais, e suas partes vegetais possuem importância para vários setores industriais e agrícolas. Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito da utilização de diluições de água produzida sintética e da quantidade de água na irrigação da *Moringa oleífera*, bem como seus efeitos no solo e na planta. O trabalho foi desenvolvido na Universidade Federal Rural do Semi-árido, em Mossoró- RN. O experimento foi conduzido em blocos casualizados com 16 tratamentos e quatro repetições. Esses tratamentos são constituídos de dois fatores em fatorial 4x4: diluições de AP sintética (0 % de AP; 10 % de AP; 20 % de AP; 30 % de AP) e diferentes lâminas de irrigação (100 % da evapotranspiração da cultura- ETc; 80 % da ETc; 60 % da ETc; 40 % da ETc). Foram analisadas características biométricas, de crescimento, agrônômicas e composição química das raízes, caules, folhas e frutos. Também foi analisado o teor de óleo obtido nas sementes da moringa. A irrigação com lâminas reduzidas influenciou características vegetativas e fisiológicas das plantas, porém não afetou sua produtividade e teor de óleo das sementes. A água produzida proporcionou acréscimo da produtividade e melhores parâmetros vegetativos e fisiológicos. De forma geral, a AP e as quantidades de água aplicadas na irrigação influenciaram o acúmulo de nutrientes nos tecidos vegetais e características químicas do solo, como o pH, CE e teor de P, Na, Ca, Mg e Br. A acumulação de Na e K nos tecidos vegetais da moringa apresentou comportamento antagônico, reduzindo o acúmulo de Na com o aumento da absorção de K. A cultura apresentou elevada capacidade de tolerar estresse hídrico e salinidade de água de até 1,23 dS.m⁻¹. Ao longo da primeira até a décima oitava semana, o Kc da moringa variou de 0,08 a 0,24.

Palavras-chave: resíduo industrial; reúso agrícola; impacto; solo; planta; semiárido.

ABSTRACT

The semi-arid region is characterized by low water availability, and it is crucial to study strategies for the use of wastewater for irrigation of agricultural fields. The water produced from petroleum (PA) represents one of the biggest challenges in the oil industry. When treated and diluted, it can be of great importance in its use for agricultural irrigation, thus reducing the negative effects of its disposal. *Moringa oleifera* Lam. It is a crop that can withstand different environmental conditions, and its plant parts are essential for various industrial and agricultural sectors. The objective of this work was to evaluate the effect of using dilutions of synthetic produced water and the amount of water in the irrigation of *Moringa oleifera*, as well as its effects on the soil and the plant. The work was developed at the Universidade Federal Rural do Semiárido in Mossoró-RN. The experiment was carried out in randomized blocks with 16 treatments and 4 replications. These treatments consist of two factors in a 4x4 factorial: synthetic PA dilutions (0 % PA; 10 % PA; 20 % PA; 30 % PA) and different irrigation depths (100 % of crop evapotranspiration - ET_c; 80% of ET_c; 60% of ET_c; 40% of ET_c). Biometric, growth and agronomic characteristics and chemical composition of roots, stems, leaves and fruits were analyzed. The oil content obtained in moringa seeds was also analyzed. Irrigation with reduced depths influenced the vegetative and physiological characteristics of the plants but did not affect their productivity and seed oil content. The produced water increased productivity and improved vegetative and physiological parameters. In general, the PA and the amounts of water applied in irrigation influenced the accumulation of nutrients in plant tissues and chemical characteristics of the soil, such as pH, EC and P, Na, Ca, Mg and Br content. The accumulation of Na and K in the plant tissues of moringa showed an antagonistic behaviour, reducing the accumulation of Na with the increase of K absorption. The culture showed a high capacity to tolerate water stress and water salinity of up to 1.23 dS.m⁻¹. Moringa Kc over the first to the eighteenth week ranged from 0.08 to 0.24.

Keywords: Industrial waste; Agricultural reuse; Impact; Ground; Plant; Semiarid.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área experimental (A). Fonte: Google Maps (2021) e área ao ar livre, onde foi conduzido o experimento (B).....	27
Figura 2: Temperatura máxima, média e mínima durante o cultivo da moringa.	27
Figura 3: Umidade relativa máxima, média e mínima durante o cultivo da moringa.	28
Figura 4: Divisão dos blocos e casualização do experimento.	29
Figura 5: Distribuição semanal de água na irrigação ao longo do experimento para a Lâmina 100% da ETc.	31
Figura 6: Esquematização do sistema de irrigação.	31
Figura 7: Caixa com água e bomba de irrigação (A), linhas de distribuição (B) e emissor (C).	32
Figura 8: Curva de retenção de água no solo.	33
Figura 9: Equipamento IRGA- WALZ-GFS-3000FL.....	34
Figura 10: Discos de folha de moringa.....	35
Figura 11: Sistema Soxhlet para extração de óleo.	37
Figura 12: A- pH do solo x água de irrigação. B- pH do solo x Lâmina de irrigação.	39
Figura 13: A- CE do solo x água de irrigação. B- CE do solo x Lâmina de irrigação.....	40
Figura 14: Quantidade de P no solo x Lâminas de irrigação.	41
Figura 15: Teor de Na no solo x Lâminas de irrigação.	42
Figura 16: A- Teor de Ca no solo x água utilizada na irrigação, B- Teor de Ca no solo x lâmina de irrigação.	42
Figura 17: A- Teor de Mg no solo x água de irrigação. B- Teor de Mg no solo x Lâmina de irrigação.	43
Figura 18: A- Teor de Br no solo x água de irrigação. B- Teor de Br no solo x Lâmina de irrigação.	44
Figura 19: Tensões de água no solo para as lâminas de irrigação aplicadas.....	45
Figura 20: Kc, Kcb e FM da Moringa oleífera LAM submetida a irrigação localizada.	46
Figura 21: Altura da moringa ao longo do período experimental x lâmina de irrigação.	47

Figura 22: Altura da moringa ao longo do período experimental x água de irrigação.	48
Figura 23: Número de folhas ao longo do período experimental x lâmina de irrigação.....	49
Figura 24: Número de folhas ao longo do período experimental x lâmina de irrigação.....	50
Figura 25: A- Área foliar para o 3° e 7° mês experimental x água de irrigação, B- Área foliar para o 3° e 7° mês experimental x lâmina de irrigação.	52
Figura 26: A- Área foliar x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação, B- Área foliar x água utilizada na irrigação.	52
Figura 27: A- Diâmetro da base do caule para o 3° mês em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação, B- Diâmetro da base do caule para o 3° mês em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação, C- Diâmetro da base do caule para o 5° mês em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação, D- Diâmetro da base do caule para o 5° mês em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação, E- Diâmetro da base do caule para o 7° mês em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação utilizada, F- Diâmetro da base do caule para o 7° mês em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação.....	54
Figura 28: Diâmetro do caule na altura do peito x lâminas de irrigação.	56
Figura 29: A- Diâmetro altura do peito para o 5° mês em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação, B- Diâmetro altura do peito para o 5° mês em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação, C- Diâmetro altura do peito para o 7° mês em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação, D- Diâmetro altura do peito para o 7° mês em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação.	57
Figura 30: A: Número de ramos x Lâminas de irrigação, B: Volume do caule x Lâminas de irrigação.	58
Figura 31: A- Número de grãos x quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam e B- Massa de grãos x quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.	60
Figura 32: A- Número de cápsulas em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação utilizada e B- Número de cápsulas em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação utilizada.	60
Figura 33: A- EUA x água utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, B- EiUA x água utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.	62
Figura 34: Umidade da folha em função das lâminas de irrigação.	64
Figura 35: Conteúdo relativo de água em função das lâminas de irrigação.....	65

Figura 36: Vazamento de eletrólitos em função das lâminas de irrigação.....	66
Figura 37: A- Teor de K na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de K na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. C- Teor de Na na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. D- Teor de Na na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.	68
Figura 38: A- Teor de Ca na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de Ca na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. C- Teor de Mg na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. D- Teor de Mg na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.	69
Figura 39: A- Teor de B na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de B na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.....	70
Figura 40: A- Teor de Mn na folha x Água de irrigação utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam. B-Teor de Mn na folha x Lâminas de irrigação utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.....	71
Figura 41: Teor de N na folha x Lâminas de irrigação utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.....	72
Figura 42: A- Teor de K na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, B- Teor de Mg na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, C- Teor de Ca na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam e D- Teor de S na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.	73
Figura 43: A- Teor de Na na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de Na na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.	74
Figura 44: A- Teor de B na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, B- Teor de Zn na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, C- Teor de Mn na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam e D- Teor de Cu na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.....	76
Figura 45: A- Teor de Co na folha x quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, B- Teor de Pb na folha x quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam e C- Teor de Cd na folha x quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.	77

Figura 46: A-Teor de N na semente x lâminas de irrigação utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam. B- Teor de Mn na semente x lâminas de irrigação utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam. 79

Figura 47: A- Teor de P na semente da Moringa oleífera Lam x água de irrigação B- Teor de Na na semente da Moringa oleífera Lam x água de irrigação, C- Teor de S na semente da Moringa oleífera Lam x água de irrigação, D- Teor de B na semente da Moringa oleífera Lam x água de irrigação e E- Teor de Pb na semente da Moringa oleífera Lam x água de irrigação. 80

Figura 48: A- Teor de K na semente da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de K na semente da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. C- Teor de Ca na semente da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. D- Teor de Ca na semente da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. 81

Figura 49: As lâminas de irrigação influenciaram o acúmulo de Mg e de Mn no solo. Com a aplicação de LAM reduzidas, o teor de Mg no caule da moringa também reduziu, pois, desta forma, a adição de Mg no solo foi menor, promovendo menor quantidade de Mg na solução do solo (Figura 49A). O aumento no teor de Mg por influência da LAM, apesar de significativo, foi relativamente baixo, aumentando apenas $0,32 \text{ g.kg}^{-1}$ da menor para maior LAM. **Figura 49:** A- Teor de Mg no caule da Moringa oleífera Lam x lâmina de irrigação. B- Teor de Mn no caule da Moringa oleífera Lam x lâmina de irrigação. 84

Figura 50: A- Teor de Mg no caule da Moringa oleífera Lam x água de irrigação. B- Teor de Na no caule da Moringa oleífera Lam x água de irrigação. 85

Figura 51: A- Teor de B no caule da Moringa oleífera Lam x água de irrigação. B- Teor de Cd no caule da Moringa oleífera Lam x água de irrigação. C- Teor de Cu no caule da Moringa oleífera Lam x água de irrigação. D- Teor de Mn no caule da Moringa oleífera Lam x Água de irrigação. E- Teor de Zn no caule da Moringa oleífera Lam x água de irrigação. 86

Figura 52: A- Teor de P no caule da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de P no caule da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. C- Teor de K no caule da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. D- Teor de K no caule da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. 87

Figura 53: A- Teor de Ca no caule da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de Ca no caule da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. C- Teor de S no caule da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. D- Teor de S no caule da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. 88

Figura 54: A- Teor de K na raiz da Moringa oleífera Lam x água de irrigação, B- Teor de Mg na raiz da Moringa oleífera Lam x água de irrigação, C- Teor de S na raiz da Moringa oleífera Lam x água de irrigação e D- Teor de Zn na raiz da Moringa oleífera Lam x água de irrigação. 90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição de água produzida em campos petrolíferos (Revisão).....	20
Tabela 2: Parâmetros de qualidade para água de irrigação	25
Tabela 3: Composição da água produzida sintética.	29
Tabela 4: Composição das águas utilizadas na irrigação da Moringa.....	30
Tabela 5: Características do solo antes da implantação do experimento.	33
Tabela 6: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para pH, CE, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, B, Br, Co, Cr, Cu, Mn, Pb e Zn.	38
Tabela 7: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para altura da moringa ao longo do período experimental.....	47
Tabela 8: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para número de folhas da moringa ao longo do período experimental.....	49
Tabela 9: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para área foliar da moringa ao longo do período experimental.	51
Tabela 10: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para diâmetro da base do caule da moringa ao longo do período experimental.....	53
Tabela 11: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para diâmetro na altura do peito do caule da moringa ao longo do período experimental.....	55
Tabela 12: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para número de ramos e volume do caule.	58
Tabela 13: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para número de cápsulas (NC), número de grãos (NG), massa dos grãos (MG), número de grãos por vargens (NGV) e peso médio dos grãos (PMG).....	59
Tabela 14: Teor de óleo na semente da moringa.....	61
Tabela 15: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para Tleaf, E, VPD, Gs, A, EUA e EiUA.	62
Tabela 16: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para umidade da folha (U), conteúdo relativo de água (CRA) e vazamento de eletrólitos (VE) para os períodos de avaliação 1 e 2.	64
Tabela 17: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de Potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), sódio (Na), boro (B), Cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e Zinco (Zn) na folha da moringa.	67

Tabela 18: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de nitrogênio (N), fósforo (P), Potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S) e sódio (Na) na folha da moringa.	71
Tabela 19: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de Boro (B), Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na folha da moringa.	75
Tabela 20: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de nitrogênio (N), fósforo (P), Potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S), sódio (Na), Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na semente da moringa.	78
Tabela 21: Composição da semente da moringa cultivada em diferentes solos.	82
Tabela 22: Composição da semente da moringa cultivada com A0 e A3.	83
Tabela 23: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de nitrogênio (N), fósforo (P), Potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S), sódio (Na), Boro (B), Cádmio (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) no caule da moringa.	84
Tabela 24: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de fósforo (P), Potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S), sódio (Na), Boro (B), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na raiz da moringa.	89

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
	2.1 Geração e composição de água produzida	18
	2.2 Destinação da água produzida	20
	2.3 Utilização de água produzida na irrigação de plantas	21
	2.4 Normas para descarte da água produzida	22
	2.5 <i>Moringa Oleífera</i> LAM.....	23
	2.6 Qualidade de água para irrigação.....	24
3	MATERIAL E MÉTODOS	27
	3.1 Área de estudo.....	27
	3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	28
	Diluições da AP:	28
	Lâminas de irrigação:	28
	3.3 Água produzida utilizada para irrigação	29
	3.4 Sistema de irrigação	31
	3.5 Solo para preenchimento dos vasos	32
	3.6 Análise química do solo.....	33
	3.7 Análise química dos tecidos vegetais da moringa	34
	3.8 Trocas gasosas.....	34
	3.9 Análise de umidade da folha, conteúdo relativo de água e extravasamento de eletrólitos	35
	3.10 Características biométricas e agronômicas.....	36
	3.10.1 Características biométricas	36
	3.10.2 Características agronômicas	36
	3.11 Análise estatística.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
	4.1 Caracterização química e tensões de água no solo	38
	4.1.1 Caracterização química.....	38
	4.1.2 Tensões de água no solo e Kc da moringa.....	44
	4.2 Características biométricas ao longo do período experimental	47
	4.2.1 Altura.....	47
	4.2.2 Número de folhas	49
	4.2.3 Área foliar.....	50
	4.2.4 Diâmetro da base do caule (DB).....	53

4.2.5 Diâmetro do caule na altura do peito (DM).....	55
4.2.6 Número de ramos (NR) e volume total do caule (VC).....	58
4.3 Produção e teor de óleo nas sementes da <i>Moringa oleífera</i> LAM	59
4.3.1 Produção	59
4.3.2 Teor de óleo na semente	61
4.4 Trocas Gasosas.....	61
4.5 Vazamento de eletrólitos	63
4.6 Composição da folha da <i>Moringa oleífera</i> LAM (1ª coleta).....	66
4.7 Composição da folha da <i>Moringa oleífera</i> LAM (2ª coleta).....	71
4.7.1 Macroelementos e sódio	71
4.7.2 Microelementos	75
4.8 Composição da semente da <i>Moringa oleífera</i> LAM.....	77
4.9 Composição do caule da <i>Moringa oleífera</i> LAM	83
4.10 Composição da raiz da <i>Moringa oleífera</i> LAM.....	89
5 CONCLUSÕES	92
REFERÊNCIAS	93

1 INTRODUÇÃO

A água produzida (AP) é oriunda das formações geológicas que contém o petróleo (NEFF et al, 2011a). A proporção de AP sobre quantidade de óleo produzido tende a ser cada vez maior à medida que a idade do poço aumenta, podendo chegar a valores que ultrapassam 95% de água (VIEIRA, 2011). Os países produtores de petróleo geralmente enfrentam problemas por baixa disponibilidade de água doce, se esforçando para encontrar métodos eficientes e economicamente viáveis para eliminar os poluentes existentes na AP, tornando-a apta a ser reutilizada para outros fins, como a irrigação de plantas (AHMADUN et al., 2009).

A região semiárida é caracterizada pela pouca disponibilidade de água (SCHMIDT et al., 2018). Ao mesmo tempo em que isso acontece, a produção petrolífera, bastante comum na mencionada região, gera grandes volumes de água produzida (AP), a qual, após etapa de tratamento, é descartada. O crescente volume de água produzida, por sua vez, constitui um perigo potencial para o meio ambiente, o qual pode variar em função de diversos fatores, como a composição da água, as características dos locais onde essa água é gerada e o destino que lhe é dado (OLIVEIRA et al., 2012).

A *Moringa oleifera* (Lam) é uma planta nativa do Nordeste da Índia e pertence à família Moringaceae; além disso, é cultivada por ter diversas utilidades e benefícios para a vida humana, por possuir alto valor alimentar, medicinal, industrial e ser utilizada no tratamento de águas (RANGEL, 2010; SOUSA e MELO, 2019). A moringa é uma das plantas que mais podem fornecer benefícios aos seres humanos (OLIVEIRA et al., 2012; SOUSA e MELO, 2019).

A utilização de águas residuárias na irrigação é relatada desde a Grécia antiga, sendo mais estudada atualmente devido às grandes demandas por água (BARROS et al., 2015). A irrigação de plantas apresenta elevado consumo de água, sendo essencial, portanto, a busca por novas fontes de água para o setor (NOGUEIRA et al., 2005; COSTA et al., 2012). Desta forma, o reúso de água na irrigação de plantas se apresenta como uma técnica de grande importância, principalmente para regiões áridas e semiáridas (SANTOS et al., 2020).

Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da utilização de diluições de água produzida sintética e da quantidade de água na irrigação da *Moringa oleifera*, bem como seus efeitos no solo e na planta.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Geração e composição de água produzida

A exploração petrolífera é uma atividade industrial muito importante em nível mundial. Com o aumento da população e a industrialização global, a demanda planetária por energia tem aumentado constantemente, de forma que os setores produtivos do petróleo intensificam suas atividades exploratórias. Com isso, a geração de água produzida também passa a ser maior, o que se torna um grande problema ambiental devido ao seu volume e composição (ASSUNÇÃO et al., 2018).

No Brasil, em setembro de 2020, a produção de petróleo e gás natural foi de 2.907.122 bbl/d e 125,256 Mm³/d, totalizando 3.694.958 boe/d e sendo o RN responsável pela produção de 38.873 boe/d. Do ano de 2010 até 2020, a produção de petróleo e gás natural tem crescido anualmente, com média para esses anos de 3,79 milhões de boe/d. (ANP, 2020).

A AP existe nas formações geológicas que contêm o petróleo e gás, sendo trazida para superfície emulsionada ao petróleo durante sua captação e sendo separada na indústria durante o processamento primário de separação para que o petróleo e o gás possam ser comercializados (NEFF et al., 2011; MUNIRASU, 2016).

A água produzida é um efluente é gerado dentro do processo industrial de petróleo e gás natural. Esse efluente passa a ser chamado de AP após chegar à superfície, sendo uma água obtida a partir da mistura da própria água existente nas formações onde se localizam os poços de petróleo com água de condensação e também de águas adicionadas durante o processo de injeção em poços para os processos de recuperação secundária (NSC, 2002; GABARDO, 2007; FAKRHU'L-RAZI et al., 2009).

A geração de AP nos campos petrolíferos pode ser altamente superior à geração do petróleo, sendo o principal resíduo da indústria e apresentando elevados potenciais de contaminação do meio ambiente (CODAY, et al., 2014; GABARDO et al., 2011; PÉREZ-CASANOVA et al., 2012).

De acordo com Figueiredo et al. (2014), quanto mais maduros forem os poços produtores de petróleo, maior tende a ser sua geração de AP, a qual contém grande diversidade de produtos químicos (fenol volátil, sólidos em suspensão, sulfetos, cianetos, benzeno, compostos nitrogenados, amônia e metais pesados). A composição orgânica e inorgânica da AP também se altera de um poço para outro, principalmente por influência do local de armazenamento geológico da AP.

A estimativa mundial de geração de AP nos campos de petróleo e gás era de 250 milhões de barris diários, sendo a produção de óleo estimada em 80 milhões de barris por dia, ocasionando uma relação água/óleo em nível global de 3:1, existindo uma perspectiva de aumento nessa relação ao longo do tempo, uma vez que o amadurecimento dos poços aumenta o volume de AP gerado (KHATIB et al., 2002).

Além do amadurecimento dos poços, outros fatores podem afetar o volume de AP gerado, como os métodos de perfuração dos poços, a localização dos poços dentro do reservatório, os tipos de completação utilizados pela indústria, as tecnologias utilizadas para separação da água do óleo dentro dos poços, a integridade mecânica do sistema, dentre outros (AHMADUN et al., 2009).

O volume de água produzida no mundo em 2010, 2015 e 2020 foi de 16.886.836.070, 18.859.868.463 e 29.015.182.250 m³/ano, respectivamente, enfatizando o aumento da geração de AP ao longo do tempo (BP, 2017; DAL FERRO e SMITH et al., 2007; SPE, 2011; FAKHRU'L-RAZI et al., 2009; STANIC, 2014).

Antes de ser destinada para qualquer fim, a AP precisa passar por um tratamento prévio para atender as demandas ambientais, operacionais e/ou da atividade produtiva que a utilizará como insumo. O tratamento tem como um dos objetivos a retirada do óleo presente na água, o qual pode encontrar-se na forma livre, dissolvida ou emulsionada, onde a emulsionada gera maior preocupação em virtude da grande dificuldade de separação (MOTTA et al., 2013).

Em um estudo de revisão sobre a composição da água produzida do petróleo, Fakhru'l-razi et al. (2009) encontraram águas produzidas de composições bem distintas, de forma que as salinidades das águas estiveram na faixa de 4,2-52,6 dS m⁻¹. Na Tabela 1, é possível observar as composições encontradas pelo estudo de revisão realizado pelos autores.

Tabela 1: Composição de água produzida em campos petrolíferos (Revisão).

Parâmetros	Unidade	Valor Máximo	Valor mínimo	Componentes	Valor Máximo (mg/L)	Valor mínimo (mg/L)
Densidade	kg/m ³	1014	1140	Cálcio	13	25800
Condutividade	uS/Cm	4200	58600	Sódio	132	97000
Tensão superficial	dyn/Cm	43	78	Potássio	24	4300
pH		4,3	10	Magnésio	8	6000
TOC	mg/L	0	1500	Ferro	<0,1	100
TDS	mg/L	1,2	1000	Alumínio	310	410
Total de óleo	mg/L	2	565	Boro	5	95
Volatilidade	mg/L	0,39	35	Bário	1,3	650
Cloreto	mg/L	80	200000	Cádmio	<0,005	0,2
Bicarbonato	mg/L	77	3990	Cobre	<0,002	1,5
Sulfato	mg/L	<2	1650	Cromo	0,02	1,1
Nitrogênio amoniacal	mg/L	10	300	Lítio	3	50
Sulfito	mg/L		10	Magnésio	<0,004	175
Polaridade total	mg/L	9,7	600		0,002	8,8
Ácidos	mg/L	<1	63	Estrôncio	0,02	1000
Fenol	mg/L	0,009	23	Titânio	<0,01	0,7
Ácidos graxos voláteis	mg/L	2	4900	Zinco	0,01	35
				Arsênio	<0,005	0,3
				Mercúrio	<0,005	0,3
				Prata	<0,001	0,15
				Berílio	<0,002	0,004

Fonte: Adaptado de Fakhru'l-Razi et al. (2009).

2.2 Destinação da água produzida

Devido à elevada geração de AP, sua destinação se torna uma preocupação, sendo necessário encontrar formas adequadas de tratamento e de destinação que prejudiquem minimamente o meio ambiente (AJEMIGBITSE, 2019). No passado, a água produzida era submetida principalmente ao tratamento físico e descartado no ambiente, com o passar do tempo vem-se conhecendo os maiores danos ocasionado pela AP, tornando as regras para sua destinação mais rigorosas (WITZE, 2015).

O descarte dado à AP pode gerar contaminação de águas superficiais, águas subterrâneas e solo; esses impactos se devem à quantidade de matéria orgânica e constituintes tóxicos naturalmente presentes nessas águas, junto aos produtos químicos adicionados durante o processo de extração do petróleo, tais como inibidores de corrosão e incrustação, desemulsificantes, polieletrólitos, dentre outros (ROCHA et al., 2012).

Devido à composição da AP e aos riscos que pode oferecer em caso de atividades antrópicas, durante muitos anos dedicou-se a estudar somente formas de reúso em setores industriais. São vários os riscos que a utilização de AP pode ocasionar, incluindo os riscos à saúde humana e de espécies do ecossistema, em caso de contato direto com a água bruta (VEIL et al., 2004).

Estudos mostram que aproximadamente 80% da água produzida gerada foram reutilizados na reinjeção para manter a pressão nos poços, porém uma vez que os poços estão localizados em zonas que sofrem com pouca disponibilidade de água, se torna interessante destinar a AP para um fim mais nobre, como a irrigação de planta (IGUNNU; CHEN, 2012).

Normalmente, a AP recebe um dos seguintes fins: disposição no solo ou em rios; irrigação; descarte no mar; descarte no subsolo e injeção em poços (AMINI et al., 2012; MOTA et al., 2013). Dependendo do tratamento imposto, a AP pode ser utilizada para irrigação de culturas agrícolas que não possuam fins comestíveis, como culturas para produção do biodiesel e plantas ornamentais.

A AP também pode ser utilizada para alguns usos industriais, como o controle de poeira, lavagem de veículos, água de reposição de usinas de energia e em atividades de controle de incêndios (VEIL et al., 2004).

Echchelh et al. (2018) afirmam que já existem vários estudos avaliando a viabilidade de reutilização da AP para fins agrícolas, principalmente no que diz respeito à irrigação de plantas. Ainda segundo os autores, os principais riscos relacionados à utilização da AP na irrigação envolvem a possibilidade de causar a salinização e sodicidade do solo.

2.3 Utilização de água produzida na irrigação de plantas

Crisostomo et al. (2016) estudaram o efeito da irrigação de *Heliantus annus* (girassol) utilizando água produzida do petróleo tratada por osmose reversa (APO) com CE de 0,53 dS.m⁻¹ e tratada por filtração (APF) com CE de 2,67 dS.m⁻¹, avaliando os efeitos ocasionados no solo e na cultura irrigada. A utilização da APO não apresentou efeito significativo na salinidade do solo, ao passo que a APF causou aumento da CEes, da concentração de Na e da PST. Por sua vez, os efeitos observados nas plantas irrigadas com a APF foram a redução da biomassa da planta e redução da massa de capítulos florais.

Crisostomo et al. (2018), em outro estudo, relataram que na irrigação de abacaxizeiro ornamental irrigado com APO e APF não houve alteração significativa da CEes, Ca, Mg, K e RAS do solo para o fator água de irrigação. Já em relação às plantas de abacaxizeiro ornamental, observou-se que com a APF houve aumento na mortalidade de planta e redução

da quantidade de hastes florais. A APO, quando comparada ao tratamento testemunha, não apresentou diferença significativa para os parâmetros citados.

Costa (2018) avaliou a irrigação de girassol com diluições de AP tratada, observando que as águas utilizadas não ocasionaram efeitos negativos nas características agrônômicas das plantas, mesmo quando utilizados 100% de AP. Em relação ao solo, a autora afirma que apenas o magnésio apresentou resposta significativa dentre todos os atributos do solo avaliados. A AP tratada utilizada no trabalho tinha baixa salinidade, fator primordial para os bons resultados obtidos.

2.4 Normas para descarte da água produzida

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo do Sistema Nacional do Meio Ambiente - SISNAMA, instituiu ato normativo referente ao descarte de água produzida (AP) por meio da Resolução nº 393, de oito de agosto de 2007. Apesar da existência de outras resoluções do mesmo conselho tratando do descarte ou lançamento de efluentes, tais como a de nº 430, de 13 de maio de 2011, e a de nº 357, de 17 de março de 2005, apenas a Resolução nº 393/2007 discorre sobre a AP.

Em suas definições iniciais, a Resolução 393/2007 conceitua como água de processo ou de produção ou água produzida “a água normalmente produzida junto com o petróleo”, além de definir condições de descarte como os padrões de lançamento da AP no mar. De forma taxativa, o ato normativo dispõe que o descarte deste efluente deve “obedecer à concentração média aritmética simples mensal de óleos e graxas de até 29 mg/L, com valor máximo diário de 42 mg/L”. Caso seja excedido o valor máximo diário, o órgão ambiental licenciador deverá ser comunicado (BRASIL, 2007).

Em relação à concentração de óleos e graxas, a Resolução dispõe que a aferição deve ocorrer pelo método gravimétrico, entretanto o órgão ambiental poderá admitir outras metodologias de análise, caso “apresentem correlação estatisticamente significativa com o método gravimétrico”. O ato normativo também especifica a quantidade de amostras diárias que devem ser coletadas para cálculo da média mensal, devendo ser recolhidas quatro coletas diárias em horários padronizados, conforme o §2º, do seu art. 6º (BRASIL, 2007).

Destaca-se, ainda, que a Resolução nº 393/2007 dispõe sobre o monitoramento de determinados parâmetros na água produzida, por parte das empresas operadoras de plataforma, conforme verifica-se em seu art. 10, abaixo transcrito:

Art. 10. As empresas operadoras de plataformas realizarão monitoramento semestral da água produzida a ser descartada das plataformas, para fins de identificação da presença e concentração dos seguintes parâmetros:

I - compostos inorgânicos: arsênio, bário, cádmio, cromo, cobre, ferro, mercúrio, manganês, níquel, chumbo, vanádio, zinco;

II - radioisótopos: rádio-226 e rádio-228;

III - compostos orgânicos: hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - HPA, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos - BTEX, fenóis e avaliação de hidrocarbonetos totais de petróleo - HTP através de perfil cromatográfico;

IV - toxicidade crônica da água produzida determinada através de método ecotoxicológico padronizado com organismos marinhos; e

V - parâmetros complementares: carbono orgânico total - COT, pH, salinidade, temperatura e nitrogênio amoniacal total.

Parágrafo único. Por ocasião do monitoramento de que trata o caput deste artigo, deverá ser feito, concomitantemente, amostragem para determinação do teor de óleos e graxas.

2.5 *Moringa Oleífera* LAM

A *Moringa* pertence à família da Moringaceae e da ordem Papaverales, possuindo um único gênero (*moringa*), o qual é composto por quatorze espécies, sendo a *Moringa oleífera* Lam a mais estudada (MARINHO et al., 2016). É uma cultura originária do Norte Indiano, sendo muito cultivada em países como Tailândia, Malásia, Paquistão, Jamaica e Nigéria e tendo sua introdução no Brasil aproximadamente em 1950 (FILHO et al., 2020).

A *moringa* é uma cultura de crescimento rápido, podendo atingir até 12 m de altura, apresentando cápsulas longas com números variáveis de sementes, sementes aladas, folhas grandes, pecioladas e bipenadas, folíolos ovalados e flores brancas de cheiro agradável (KIILL et al., 2012). É uma planta bastante resistente a diversos fatores como: Altitudes, temperatura, baixa fertilidade do solo, salinidade do solo e da água e consegue se desenvolver bem cultivada com irrigação ou em sequeiro (HÖHN et al., 2018).

Devido aos seus diversos potenciais de uso, a *moringa* recebe popularmente o nome de “Árvore milagrosa”, possuindo alto valor nutricional e diversas propriedades medicinais (GOPALAKRISHNAN et al., 2016). As folhas dessa planta possuem elevados teores de nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo e vitaminas (BASRA et al., 2015). Plantas de *moringa* possuem mais vitamina A, vitamina C, ferro e cálcio do que cenoura, laranja, espinafre e leite, respectivamente (FAHEY, 2005).

As sementes da *moringa* possuem elevado teor de óleo e são ricas em proteínas (LEONE et al., 2016), podendo, quando desidratadas e transformadas em pó, ser utilizadas no

tratamento de água, pois possuem substâncias coagulantes que são solúveis em água e ocasionam a redução de contaminantes e turbidez (ARANTES et al., 2015). Além disso, essa cultura possui propriedades farmacológicas, dentre as quais podem ser citadas as suas funções antioxidante, antidiabético, antiobesidade, atividades anticancerígenas, hepatoprotetoras, nefroprotetoras, neuroprotetoras, antibacterianas, antivirais, etc. (SINGH et al., 2019).

Em trabalho realizado por Oliveira et al. (2012), demonstrou-se que a semente da moringa, quando utilizada para produção do biodiesel, fornece óleo com boa quantidade (40%) e com características físico-químicas (massa específica, água, sedimentos e índice de acidez) em conformidade com os parâmetros estabelecidos pelas normas da Resolução n° 07/2008, da Agência Nacional de Petróleo, Gás natural e Biocombustíveis (BRASIL, 2008). Além disso, o índice de rendimento da transesterificação do óleo de *Moringa oleífera* Lam, em biodiesel (B100), foi elevado e satisfatório, variando entre 83,68 e 99,9 % (OLIVEIRA et al., 2012).

2.6 Qualidade de água para irrigação

De acordo com Almeida (2010), a qualidade da água utilizada para irrigação deve ser avaliada seguindo três parâmetros, que são a salinidade (podendo ocasionar acumulação de sais, ocasionando o efeito osmótico e conseqüente redução do rendimento das culturas), sodicidade (possível deterioração da estrutura do solo em caso de elevada PST) e toxidade (que pode ser ocasionada pelo acúmulo de determinados elementos no tecido das plantas).

Na Tabela 2, podem ser observadas algumas características a serem avaliadas na água antes da utilização para irrigação de plantas.

Tabela 2: Parâmetros de qualidade para água de irrigação.

Parâmetros	Unidade	Intervalo usual para irrigação
SALINIDADE		
Condutividade elétrica	dS.m ⁻¹	0 - 3
CÁTIONS E ÂNIONS		
Cálcio	meq.L ⁻¹	0 - 20
Magnésio	meq.L ⁻¹	0 - 5
Sódio	meq.L ⁻¹	0 - 40
Carbonatos	meq.L ⁻¹	0 - 0,1
Bicarbonatos	meq.L ⁻¹	0 - 10
Cloretos	meq.L ⁻¹	0 - 30
Sulfatos	meq.L ⁻¹	0 - 20
NUTRIENTES		
Nitrato – Nitrogênio	mg.L ⁻¹	0 - 10
Amoníaco – Nitrogênio	mg.L ⁻¹	0 - 5
Fosfato – Fósforo	mg.L ⁻¹	0 - 2
Potássio	mg.L ⁻¹	0 - 2
OUTROS		
Boro	mg.L ⁻¹	0 - 2
Acidez ou Alcalinidade		6 - 8,5
RAS	mmolc.L ⁻¹	0 - 15

Fonte: Adaptado de Almeida (2010).

2.7 Nutrição da moringa

A moringa é uma cultura que apresenta alta adaptabilidade em solos pouco férteis e com pH variando ente 5-9, entretanto, quando se busca maiores produtividades, é fundamental realizar a correção do pH do solo e da sua fertilidade. O pH do solo próximo à neutralidade é o mais adequado para o melhor desenvolvimento das culturas de forma geral, não sendo diferente para moringa, uma vez que é nessa faixa de pH que os nutrientes estão disponíveis em maior quantidade (ADEBAYO et al., 2011; SOUTO e NASCIMENTO, 2018; SOUTO, 2017).

O elemento acumulado em maior quantidade na matéria seca da folha da moringa é o nitrogênio, sendo a ordem de acúmulo dos elementos assim representada: N > K > Ca > P > Mg > S (VIEIRA et al., 2008). A ordem de acúmulo apresentado é semelhante à de várias culturas cultivadas com fins econômicos no Brasil, entretanto são necessários estudos específicos do comportamento dos nutrientes isoladamente nos processos bioquímicos da

moringa, para se determinar quantidades adequadas de adubação para a cultura (SOUTO e NASCIMENTO, 2018).

Existem poucos estudos acerca da adubação da moringa, entretanto alguns trabalhos mostram respostas positivas dessas plantas quando submetidas a maior disponibilidade de nutrientes (SOUTO, 2017). Existem estudos que mostram que o teor médio de N encontrado na matéria seca foliar da moringa varia entre 28,9 e 37,45 g.kg⁻¹ (VIEIRA et al., 2008; ADEBAYO et al., 2011). A adubação nitrogenada da moringa é importante por ser um elemento que influencia diretamente na absorção de outros nutrientes e na produção de matéria seca da planta, sendo recomendados 50-120 kg.ha⁻¹ de N por ano (SOUTO e NASCIMENTO, 2018).

A adubação da moringa com K e P também é uma questão pouco estudada, exigindo maior estudo para determinação de quantidades adequadas de seu fornecimento para cultura. Souto e Nascimento (2018) recomendam que a adubação fosfatada da moringa seja realizada de forma a manter o teor desse elemento no solo na faixa de bom ou muito bom, não descrevendo informações a respeito da adubação potássica.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

O experimento foi conduzido ao ar livre em área experimental do campus oeste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN ($5^{\circ}12'48''$ S, $37^{\circ}18'44''$ O e 18 m de altitude). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, é do tipo BSh (quente e seco). A precipitação pluviométrica é bastante irregular, sendo a média anual de 637,9 mm; a temperatura média de $27,4^{\circ}\text{C}$; a umidade relativa do ar média de 68,9 %, a insolação média diária de 7,83 horas e a anual de 2771,27 horas de brilho solar, durante período histórico de 30 anos (ALVARES et al., 2013).

Nesta área existe uma camada de Argissolo Vermelho Distrófico Típico depositado numa camada de 80 cm de espessura a cerca de 10 anos (Figura 1). Os dados meteorológicos durante o período do cultivo da moringa foram coletados na estação meteorológica da UFERSA (Figura 2 e 3).



Figura 1: Localização da área experimental (A). Fonte: Google Maps (2021) e área ao ar livre, onde foi conduzido o experimento (B)

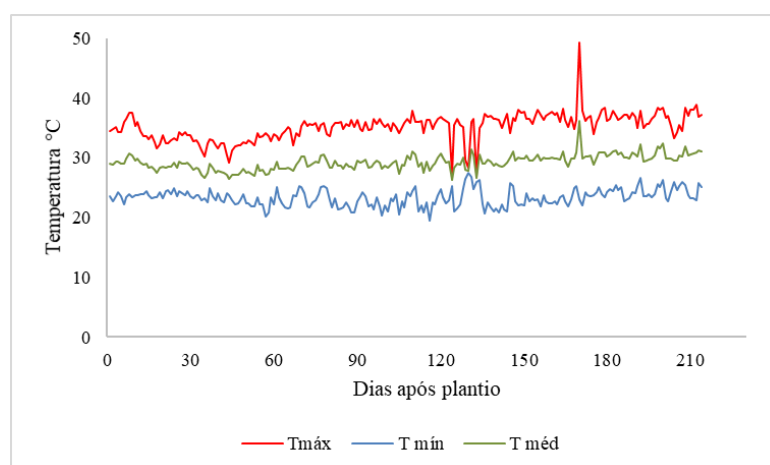


Figura 2: Temperatura máxima, média e mínima durante o cultivo da moringa.

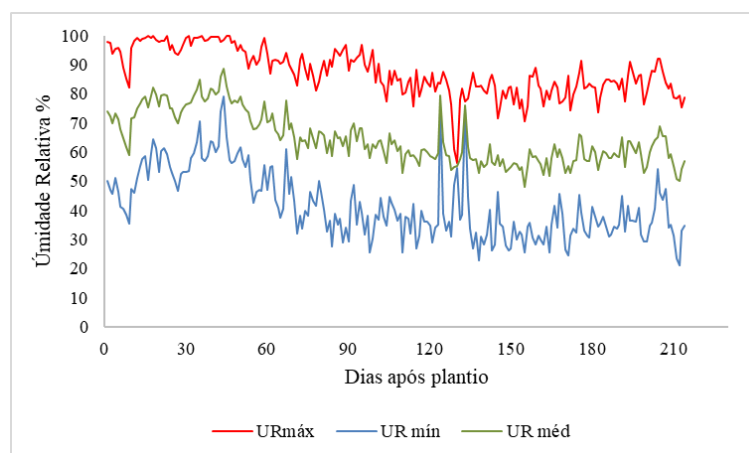


Figura 3: Umidade relativa máxima, média e mínima durante o cultivo da moringa.

O experimento em campo foi conduzido no período de 20 de abril de 2021 a 15 de dezembro de 2021, sendo a aplicação dos tratamentos iniciada no dia 15 de maio de 2021.

3.2 Delineamento experimental e tratamentos

O experimento foi conduzido em blocos casualizados com 16 tratamentos e quatro repetições (Figura 4). Esses tratamentos foram constituídos de dois fatores (diluições de AP e lâminas de irrigação) em fatorial 4 x 4.

Diluições da AP:

- A0- 0 % de água produzida tratada + 100 % de água de abastecimento;
- A1- 10 % de água produzida tratada + 90 % de água de abastecimento;
- A2- 20 % de água produzida tratada + 80 % de água de abastecimento;
- A3- 30 % de água produzida tratada + 70 % de água de abastecimento.

Lâminas de irrigação:

- L100- 100 % da ETc + 10 % da fração de lixiviação;
- L80- 80 % da ETc + 10 % da fração de lixiviação;
- L60- 60 % da ETc + 10 % da fração de lixiviação;
- L40- 40 % da ETc + 10 % da fração de lixiviação;

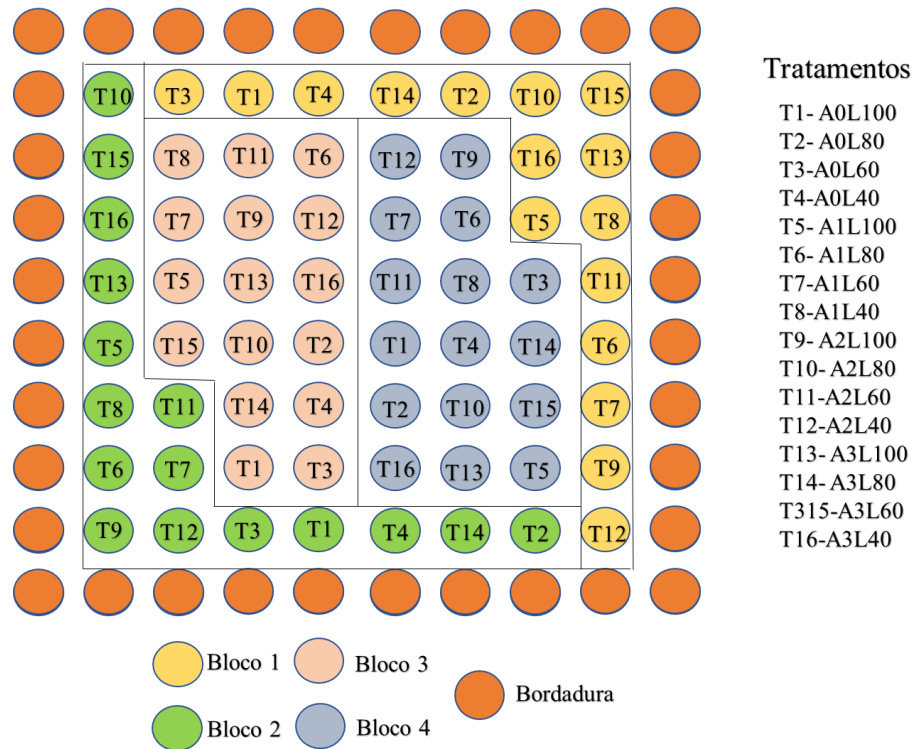


Figura 4: Divisão dos blocos e casualização do experimento.

Cada unidade experimental foi conduzida em vasos de 50 L semeados com três sementes por vaso e após 20 dias de germinação foi realizado o desbaste deixando uma planta por vaso, ocasião em que se iniciou a aplicação dos tratamentos. Para preencher os vasos, o solo do terreno foi escavado, colocado dentro dos vasos e depois os vasos foram colocados nos buracos onde o solo foi retirado.

3.3 Água produzida utilizada para irrigação

A água produzida (AP) utilizada no experimento foi elaborada de forma sintética simulando a composição média das AP's da região, de acordo com trabalho realizado por Figueiredo et al. (2014), como representado na Tabela 3. Para produção da AP, foram utilizados os seguintes produtos: cloreto de bário, cloreto de manganês, brometo de potássio, ácido bórico, cloreto de sódio, cloreto de cálcio, fluoreto de amônio e água mãe e ácido acético, substituindo o ácido fórmico.

Tabela 3: Composição da água produzida sintética.

Água produzida (mg/L)													
Brometo	Cloreto	Flúor	Sulfato	Alumínio	Bário	Boro	Cálcio	Ferro	Manganês	Magnésio	Potássio	Sódio	Zinco
1,62	687,47	1,63	39,94	0,13	0,84	0,44	169,89	0,24	0,19	65,76	47,61	242,07	0,09

A água produzida foi diluída com água de abastecimento (AA) oriunda de poço tubular gerenciado pela Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN). A água produzida e a água de abastecimento foram caracterizadas quimicamente, no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) da UFRS, onde, seguindo as recomendações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa (SILVA, 2009), foram determinados: potencial hidrogeniônico (pH), medido com o pHmetro; a condutividade elétrica (CE), medida por condutivímetro digital; as concentrações de cálcio (Ca), magnésio (Mg), cloreto (Cl), carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-), por meio de titulometria; sódio (Na) e potássio (K), por fotômetro de chama; as concentrações de zinco (Zn), bário (Ba), boro (B), flúor (F), bromo (Br) e manganês (Mn) foram determinados no ICP-OES. Na Tabela 4, encontram-se as características químicas das águas utilizadas na irrigação da moringa.

Tabela 4: Composição das águas utilizadas na irrigação da Moringa.

	pH	CE	K	Na	Ca	Mg	Cl	CO_3^{2-}	HCO_3^-
		dS.m ⁻¹	---- mg.L ⁻¹ ----		---mmolc.L ⁻¹ ---			-----mmolc.L ⁻¹ -----	
A0	7,50	0,48	8,32	102,00	0,42	0,19	0,71	0,40	2,70
A1	7,76	0,75	15,54	115,00	1,16	1,25	1,24	0,40	2,70
A2	7,81	0,99	22,36	127,00	1,66	2,57	1,84	0,40	2,70
A3	7,86	1,23	29,58	140,00	2,24	3,86	2,69	0,40	2,70
	S	Ba	B	Mn	Zn	F	Br		
	-----mg.L ⁻¹ -----								
A0	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND		
A1	3,99	0,08	0,04	0,02	0,01	0,16	0,16		
A2	7,99	0,17	0,09	0,04	0,02	0,33	0,32		
A3	11,98	0,25	0,13	0,06	0,03	0,49	0,49		

A0: Água de abastecimento, A1: 10% de água produzida + 90% de água de abastecimento, A2: 20% de água produzida + 80% de água de abastecimento, A3: 30% de água produzida + 70% de água de abastecimento, K: Potássio, Na: sódio, Mg: magnésio, Ca: cálcio, Cl: Cloro, CO_3^{2-} : Carbonato, HCO_3^- : Bicarbonato, S: enxofre, Ba: bário, B: boro, Mn: manganês, Zn: zinco, F: flúor, Br: bromo. ND: Não detectável.

Ao fim do experimento, foram aplicados nas parcelas úteis do experimento aproximadamente 19.300 L de água, dos quais 2.893 L foram de água produzida do petróleo. As distribuições das lâminas de água diária para a lâmina de 100% podem ser observadas na Figura 5.

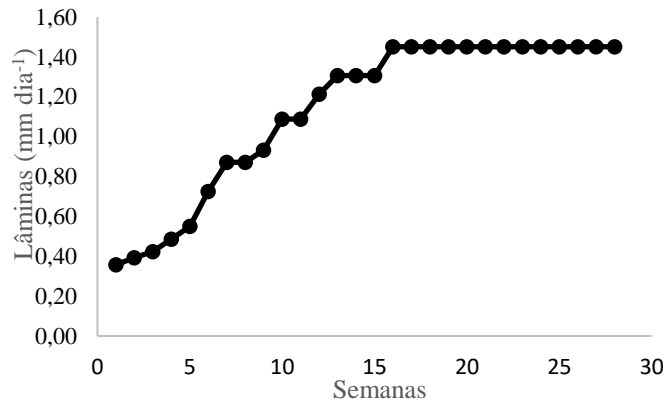


Figura 5: Distribuição semanal de água na irrigação ao longo do experimento para a Lamina 100% da ETc.

3.4 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação foi composto por quatro caixas de 500 L, nas quais eram armazenadas as águas de irrigação. A água era pressurizada para o sistema de irrigação por meio de bombas elétricas (Figuras 6 e 7). A linha principal e as linhas laterais eram de mangueiras de 16 mm e os emissores do tipo espaguete de irrigação e o comprimento do emissor eram de tamanho suficiente para ocasionar perda de carga no sistema, permitindo a vazão adequada para cada tratamento.

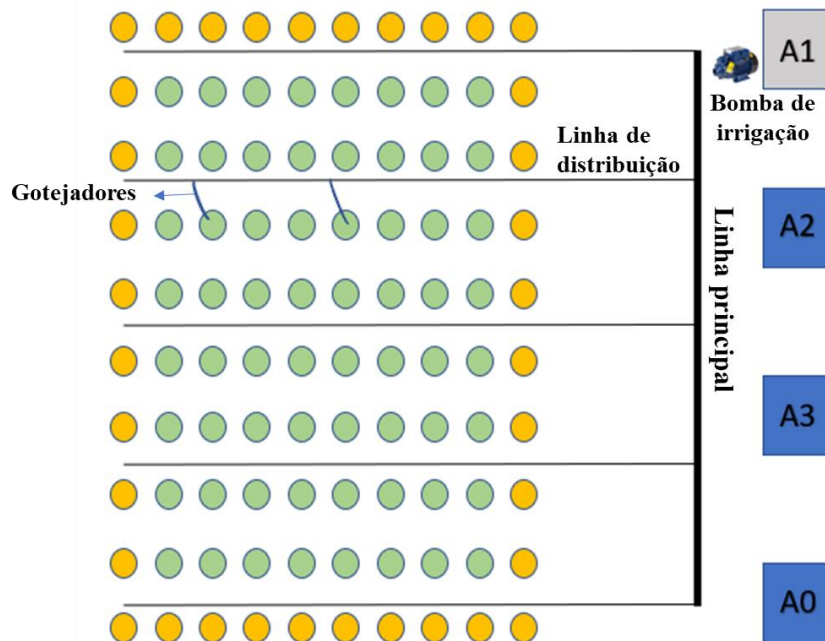


Figura 6: Esquematização do sistema de irrigação.

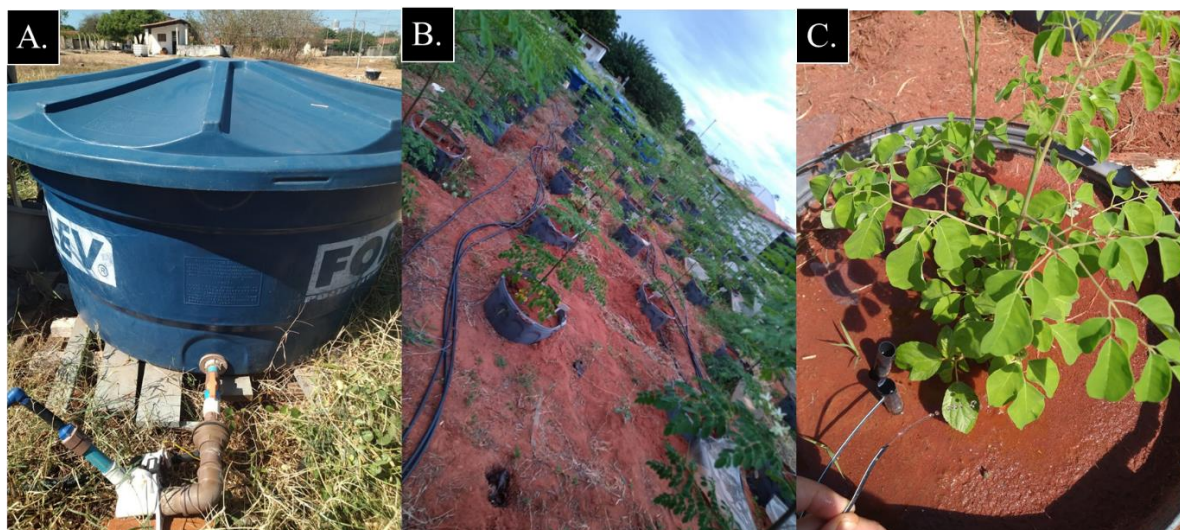


Figura 7: Caixa com água e bomba de irrigação (A), linhas de distribuição (B) e emissor (C).

A demanda hídrica da cultura foi calculada por meio do balanço hídrico, onde a entrada de água foi a irrigação e a saída foi a evapotranspiração da cultura (ET_c) e a lâmina percolada. Para determinar a lâmina percolada, foi necessário utilizar a lixiviação controlada no tratamento testemunha, colocando os vasos dentro de bacias plásticas, as quais tinham o fundo feito em cimento e torneira para coletar a água lixiviada. Em alguns vasos foram instalados tensiômetros para medir as tensões de água no solo, as quais eram lidas por meio de tensímetro digital.

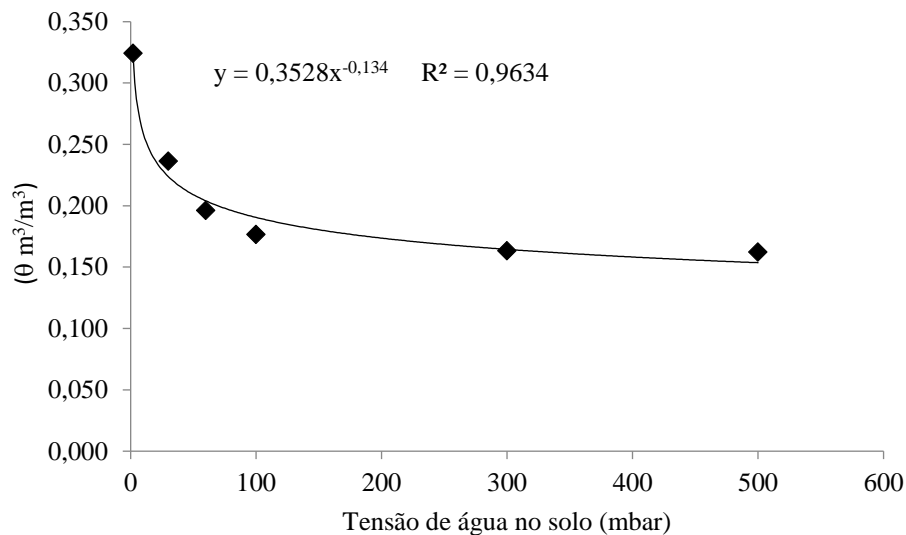
3.5 Solo para preenchimento dos vasos

O solo utilizado para preenchimento dos vasos foi coletado na área onde se instalou o experimento, que tinha sido trazido há cerca de 10 anos Fazenda Experimental Rafael Fernandes, na comunidade da Alagoinha, o qual é caracterizado como Argissolo Vermelho Distrófico Típico (REGO et al., 2016). Este solo é similar aos encontrados próximo às áreas onde as águas produzidas de petróleo são estocadas. Foram coletadas amostras de solos nas profundidades de 0 a 0,30 m, para realização das análises químicas (Antes e depois do experimento), no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) da UFERSA. A Tabela 5 mostra os resultados obtidos na análise química dos solos antes da implantação do experimento, e a curva de retenção de água no solo pode ser observada na Figura 8.

Tabela 5: Características do solo antes da implantação do experimento.

pH	CE	P	K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m	PST
(água)	dS/m	-----mg.dm ⁻³ -----					-----cmol _c .dm ⁻³ -----				-----%-----		
7,50	0,06	28	106	12,2	1,35	1,35	0,00	0,00	3,03	3,03	100	0	2

pH: potencial hidrogeniônico, CE: condutividade elétrica, P: fósforo, K: potássio, Na: sódio, Ca: cálcio, Mg: magnésio, Al: Alumínio, H+Al: acidez potencial, SB: soma de bases, CTC: capacidade de trocas catiônicas, V: saturação por bases, m: saturação por alumínio e PST: porcentagem de sódio trocável.

**Figura 8:** Curva de retenção de água no solo.

A correção e adubação do solo foram realizadas seguindo as necessidades da cultura, de acordo com a metodologia de Souto e Nascimento (2018). Foram aplicados 20 g de NPK 20-20-20 na adubação de fundação e ao longo do desenvolvimento fizeram-se duas adubações de cobertura, aos 30 e 100 dias, com 10 g de ureia e 10 g de Cloreto de potássio em cada aplicação.

VARIÁVEIS AVALIADAS:

3.6 Análise química do solo

As características químicas do solo avaliadas foram: Potencial hidrogeniônico (pH), Condutividade elétrica (CEes), Fósforo (P), Potássio (K), Sódio (Na), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Cobre (Cu), Cobalto (Co), Boro (B) Cromo (Cr) e Chumbo (Pb). As análises foram realizadas seguindo a metodologia de Silva (2009). O pH e a CEes foram realizados em água. Ca e Mg foram extraídos em solução de KCl e

determinados por método titulométrico, e os demais elementos foram extraídos em solução dupla ácida Mehlich, ao passo que as leituras quantitativas dos elementos foram realizadas por equipamento ICP-OES.

3.7 Análise química dos tecidos vegetais da moringa

Nas plantas foram analisados os seguintes elementos: Nitrogênio (N) Fósforo (P), Potássio (K), Sódio (Na), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Zinco (Zn) e Cobre (Cu), Cobalto (Co), Boro (B) Cromo (Cr) e Chumbo (Pb). A extração dos elementos foi feita por digestão seca do material conforme metodologia de Silva (2009), e as leituras quantitativas dos elementos foram realizadas em equipamento ICP-OES.

3.8 Trocas gasosas

As leituras das trocas gasosas da planta foram realizadas por uso de um analisador de fotossíntese- IRGA, modelo WALZ-GFS-3000FL (Figura 9). Foram determinadas a temperatura da folha, taxa de transpiração, déficit de pressão de vapor, condutância estomática, taxa de assimilação de CO₂, eficiência instantânea do uso da água, eficiência intrínseca do uso da água. As trocas gasosas foram determinadas aos 100 dias após início da aplicação dos tratamentos.



Fonte: Google (2022).

Figura 9: Equipamento IRGA- WALZ-GFS-3000FL.

3.9 Análise de umidade da folha, conteúdo relativo de água e extravasamento de eletrólitos

A análise consistiu em coletar folhas dos tratamentos às 12h00, e no laboratório foram retirados das folhas de cada tratamento 15 discos de 0,79 cm² para determinar a umidade da folha (U) e o conteúdo relativo de água (CRA) e 10 discos de mesma área para determinar o extravasamento de eletrólitos (EE) (Figura 10).



Figura 10: Discos de folha de moringa.

Para determinar U e CRA, realizou-se a pesagem da massa fresca dos discos, posteriormente realizou-se a pesagem dos discos saturados em água deionizada por duas horas e a pesagem dos discos após secos em estufa a 65 °C.

Por meio da equação 1, foi calculada a umidade da folha e por meio da equação 2 foi calculado o conteúdo relativo de água.

Equação 1:

$$U = \frac{(MF - MS)}{MF} * 100$$

Onde: U= Umidade (%); MF- Massa fresca; MS:-Massa seca.

Equação 2:

$$CRA = \frac{(MF-MS)}{(MAS-MS)} * 100$$

Onde: CRA- Conteúdo relativo de água (%); MF- Massa fresca; MAS- Massa saturada, MS:- Massa seca.

Para o EE, os discos foram adicionados a 25 mL de água deionizada em tubos falcon, sendo lida a CE inicial do conteúdo após 90 minutos. Feito isso, os tubos falcon foram

levados para banho maria a 85°C por quatro horas, depois sendo esfriado para temperatura de 25 °C, lida a CE final e calculado o EE por meio da equação 3.

Equação 3:

$$EE = \frac{L1}{L2} * 100$$

Onde: EE- Extravasamento de eletrólitos (%); L1- Leitura inicial da CE; L2- Leitura final da CE.

As análises foram repetidas aos 105 dias e 210 dias após início da aplicação dos tratamentos.

3.10 Características biométricas e agronômicas

3.10.1 Características biométricas

As características biométricas das plantas foram medidas mensalmente. Altura, diâmetro do colo, diâmetro na altura do peito e número de folhas foram medidos de forma direta com mira topográfica, paquímetro digital e contagem, respectivamente. A área foliar foi realizada conforme o apêndice I. Para o trabalho, utilizou-se as medidas a cada dois meses, sendo eles o 1°, 3°, 5° e 7° meses experimentais.

3.10.2 Características agronômicas

No final do período experimental, foram avaliados a produção de grãos, número de vagens, grão por vagens, massa média dos grãos e teor de óleo na semente da moringa. O óleo da moringa foi extraído utilizando o hexano como solvente em um sistema Soxhlet com refluxo durante cinco horas (Figura 11), no laboratório de relação água e planta do LASAPSA - UFERSA.



Figura 11: Sistema Soxhlet para extração de óleo.

3.11 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk; se normal, foi aplicada a análise de significância pelo teste F. Foi realizado o desdobramento dos fatores quando ocorreu resposta significativa à interação entre os fatores. Os dados referentes aos resultados de produção, de área foliar ao 5º mês experimental e número de ramos ao 7º mês experimental não foram considerados normais pelo teste Shapiro-Wilk, sendo necessário transformar os valores em raiz quadrada para atingir a normalidade estatística. O efeito dos níveis dos fatores estudados foi analisado por análise de regressão e utilizado o teste F aos níveis de 1% e 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* estatístico RStudio.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização química e tensões de água no solo

4.1.1 Caracterização química

A Tabela 6 apresenta os dados relacionados à análise de significância estatística pelo teste F para as características químicas do solo irrigado com diluições de AP sintética.

Tabela 6: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para pH, CE, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, B, Br, Co, Cr, Cu, Mn, Pb e Zn.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F							
		pH	CE	P	K	Na	Ca	Mg	Fe
Bloco	3	0,3847	0,4658	0,9328	0,5353	0,5547	0,1269	0,5307	0,6521
AP	3	0,8603	0,0000	0,4503	0,3297	0,1385	0,0002	0,0000	0,0631
L	1	0,5137	0,0000	0,3002	0,5975	0,5349	0,0000	0,0000	0,0338
Q	1	0,6434	0,0312	0,5663	0,0841	0,0248	0,6117	0,2960	0,8520
LAM	3	0,0000	0,4055	0,0072	0,4120	0,0139	0,0041	0,0002	0,2557
L	1	0,0000	0,3078	0,0032	0,3076	0,0036	0,0051	0,0004	0,3403
Q	1	0,5688	0,1819	0,4263	0,2389	0,2020	0,0210	0,0057	0,9486
AP x LAM	9	0,0041	0,0449	0,5530	0,0775	0,1746	0,3978	0,0011	0,4226
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		5,44	35,27	25,96	36,41	36,13	15,50	15,12	14,17
Média		6,88	0,90	54,26	151,94	171,22	1,29	0,97	143,47

FV	GL	Significância estatística pelo teste F							
		B	Br	Co	Cr	Cu	Mn	Pb	Zn
Bloco	3	0,4929	0,8849	0,5645	0,5256	0,6828	0,1866	0,0349	0,0008
AP	3	0,5543	0,0000	0,5645	0,7562	0,4043	0,8274	0,1599	0,7071
L	1	0,2597	0,0000	0,2814	0,6666	0,1313	0,6390	0,0885	0,7733
Q	1	0,4399	0,0062	1,0000	0,8906	0,9452	0,9710	0,8171	0,9064
LAM	3	0,1662	0,0241	0,9081	0,0556	0,9614	0,4645	0,4707	0,3264
L	1	0,7776	0,0110	0,8163	0,0425	0,6303	0,3282	0,4308	0,2132
Q	1	0,2923	0,7490	0,6039	0,7451	0,9986	0,4797	0,1890	0,6199
AP x LAM	9	0,8653	0,0012	0,8120	0,0154	0,0527	0,1096	0,8789	0,1627
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		34,27	32,22	29,45	45,13	59,59	19,00	15,28	28,11
Média		2,55	14,27	0,24	0,20	0,63	6,32	0,92	4,10

Fonte: Elaborada pelo autor. FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo. pH: potencial hidrogeniônico, CE: salinidade do solo, P: fósforo, K: potássio, Ca: cálcio, Mg: Magnésio, Na: sódio, Fe: ferro, B: boro, Co: cobalto, Cr: cromo, Cu: cobre, Mn: manganês, Pb: chumbo e Zn: zinco.

O potencial hidrogênionico respondeu positivamente à interação dos fatores AP x LAM (Tabela 6). Na Figura 12A, observa-se que o efeito da AP sobre cada lâmina de irrigação isolada não ocasionou mudança significativa no pH do solo, exceto para a L100. No tratamento L100, o maior pH encontrado esteve associado a A0, pois a lixiviação nesse solo

ocorria de forma controlada para identificar a evapotranspiração da cultura, o que ocasionou aumento do pH. Os tratamentos irrigados com L80, L60 e L40 apresentaram a média do pH de 7,12, 6,57 e 6,27, respectivamente.

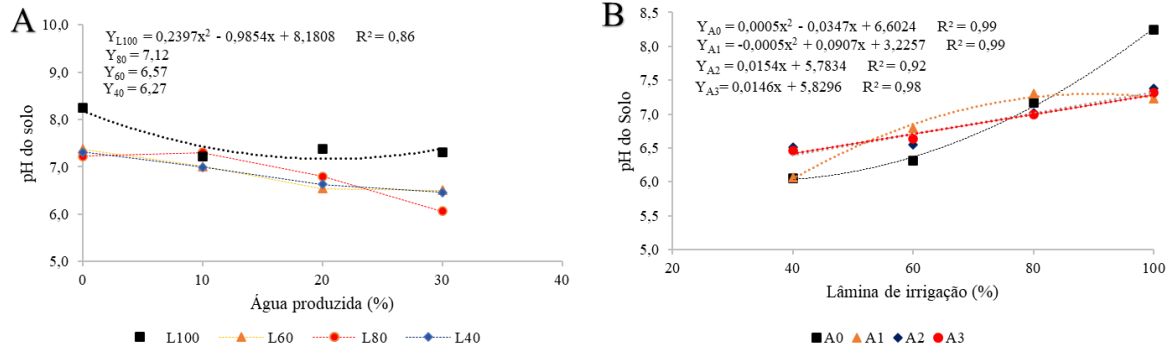


Figura 12: A- pH do solo x água de irrigação. B- pH do solo x Lâmina de irrigação.

O pH do solo pode se alterar de acordo com a água de irrigação utilizada no experimento, de modo que águas de irrigação mais salinas tendem a elevar o pH dos solos (Costa, 2019). No presente trabalho, as águas de maiores salinidades não ocasionaram aumento do pH, pois a moringa é uma cultura com grande capacidade de absorção de elementos químicos, concentrando grande parte dos componentes existentes na AP sintética em seus tecidos vegetais.

De acordo com Ribeiro et al. (1999), o pH do solo pode ser dividido em: muito baixo (<4,5), baixo (entre 4,5-5,4), bom (entre 5,5-6,0), alto (entre 6,1-7,0) e muito alto (>7,0). De forma geral, os pH dos solos, ao fim do experimento, encontra-se nas classes “alto e muito alto”, mantendo a classificação do pH inicial do solo.

Para as quatro águas utilizadas na irrigação, o pH do solo aumentou da menor para maior lâmina (Figura 12B). Ao adicionar maiores volumes de água no solo, aumentam também maiores quantidades de sais, fator responsável pelo resultado obtido.

Para o cultivo agrícola, é importante que o solo seja manejado de forma que o pH se mantenha na faixa entre 5,5 e 6,5, pois é nesse intervalo que a maioria dos nutrientes se encontra em maiores quantidades prontamente disponíveis às plantas (NOVAIS, 2007). Além disso, solos com pH muito baixo podem provocar aparecimento de Al^{3+} no solo (van RAIJ, 1991), o qual em quantidades elevadas é tóxico para as plantas e pode provocar infertilidade dos solos (MALAVOLTA, 2006).

A salinidade do solo respondeu de forma significativa à interação das variáveis analisadas (Tabela 6). Quando solo foi irrigado com L40 e L100, a AP sintética não

influenciou na salinidade do solo, com médias de 0,78 e 0,90 dS.m⁻¹, respectivamente (Figura 13A). A L40 recebe pouca quantidade de água e, conseqüentemente, pequena quantidade de sais, ocasionando no solo acréscimo de CEes não significativo, mesmo com a presença da água mais salina. No caso da irrigação com L100, deve ocorrer maior lixiviação no solo, lavando os sais do solo e transportando para profundidades maiores que a camada de 0-30 cm.

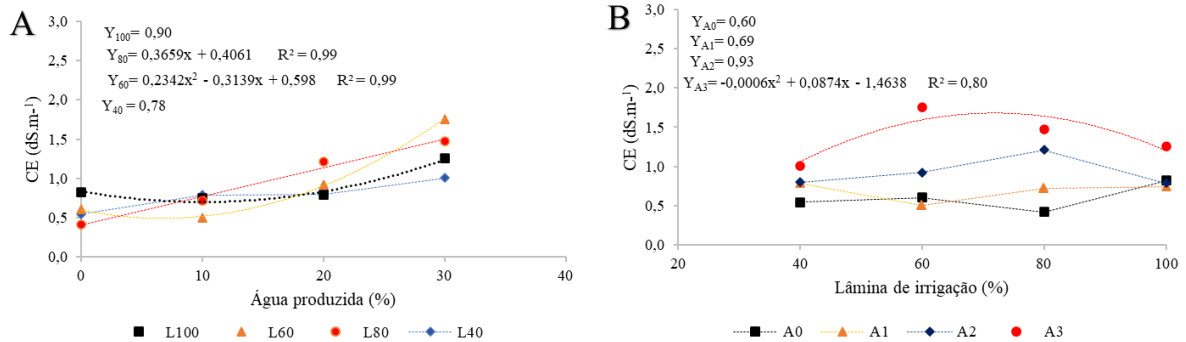


Figura 13: A- CE do solo x água de irrigação. B- CE do solo x Lâmina de irrigação.

Por sua vez, as lâminas de irrigação não ocasionaram efeito significativo no aumento de salinização do solo quando irrigado com A0, A1 e A2, que ocasionaram CEes média nos solos de 0,60, 0,69 e 0,93 dS.m⁻¹, respectivamente (Figura 13B). Quando utilizada a A3 na irrigação, a salinidade aumentou de forma significativa da L40 para L60, reduzindo com a L80 e L100, por serem lâminas que ocasionam maior lixiviação no solo. Quando utilizada a A3, a CEes no solo foi de 1,37 dS.m⁻¹.

Observa-se que a utilização de 30 % de AP sintética na irrigação ocasionou aumento da CEes do solo em torno de 128 % ao longo de sete meses de irrigação. Desta forma, se faz necessário ter maior atenção para o manejo desse sistema produtivo para que a CEes não atinja níveis indesejáveis e que ocasiona danos severos as culturas produzidas nesses ambientes. Apesar desse aumento na salinidade, os solos apresentaram valor abaixo de 2 dS m⁻¹, o qual constitui o limite para um solo ser considerado ligeiramente salino, de acordo com a Sociedade Americana de Ciência de Solo (RICHARDS, 1954).

O processo de aumento de salinidade dos solos do experimento já era esperado, uma vez que seria irrigado diariamente por um longo período em vasos, o que limita a distribuição dos sais para um maior volume de solo.

As regiões áridas e semiáridas são as mais afetadas pela salinização dos solos, por terem precipitação pluviométrica baixa, menor grau de intemperismo e a utilização de água por vezes de má qualidade para irrigação (HOLANDA et al., 2007), tudo isso associado ao manejo inadequado.

A concentração de P no solo foi significativamente alterada com a irrigação de lâminas reduzidas (Figura 14). Todos os tratamentos receberam quantidade de P semelhante na água e por meio da adubação de fundação, porém a quantidade de P adsorvido as partículas do solo aumentou com a redução das lâminas. Com a utilização das maiores lâminas, maior quantidade de P se tornou disponível na solução do solo para ser retirado do sistema por meio de absorção pelas plantas.

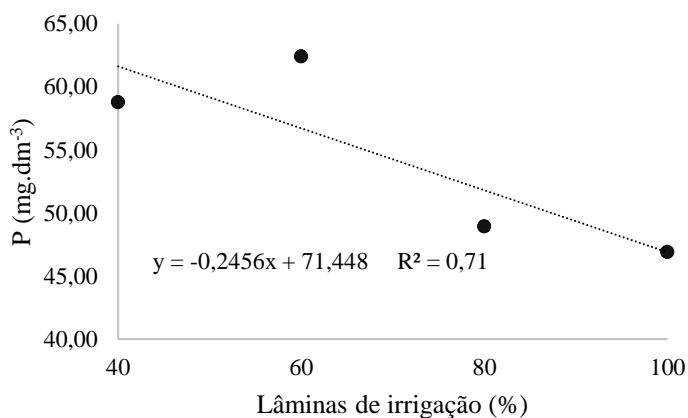


Figura 14: Quantidade de P no solo x Lâminas de irrigação.

O teor de fósforo no solo no início do experimento era de 28,00 mg.dm⁻³; com a adição da adubação e a aplicação dos tratamentos, o teor de P aumentou, uma vez que é um dos elementos que mais possuem capacidade de se adsorverem aos coloides do solo. Para os tratamentos que receberam L40, L60, L80 e L100, o teor desse nutriente retido no solo foi de 58,78, 62,41, 48,93 e 46,91 mg.dm⁻³, respectivamente.

O potássio no solo não apresentou efeito significativo para os tratamentos estudados, com concentração no solo de 151,94 mg.dm⁻³, valor superior ao encontrado no início do experimento, quando o solo apresentava 106,3 mg.dm⁻³. A moringa demonstrou alto potencial de absorção de K, desta forma absorvendo e acumulando em seus tecidos o K adicionado no solo por meio da água e das diferentes lâminas utilizadas na irrigação.

A quantidade de Na encontrado nos solos ao fim do experimento também foi superior ao teor inicial. O solo apresentava 12,12 mg.dm⁻³ de Na, aumentando para uma média de 171,22 mg.dm⁻³ ao fim do experimento, sendo um dos principais responsáveis pelo aumento da salinidade do solo no presente trabalho.

A concentração do Na no solo respondeu de forma significativa às lâminas de irrigação (Figura 15). Pode-se observar que o aumento das lâminas de irrigação promoveu aumento no teor do elemento no solo, variando de 132,37, 161,65, 200,81 e 190,05 para as LAM L40, L60, L80 e L100, respectivamente.

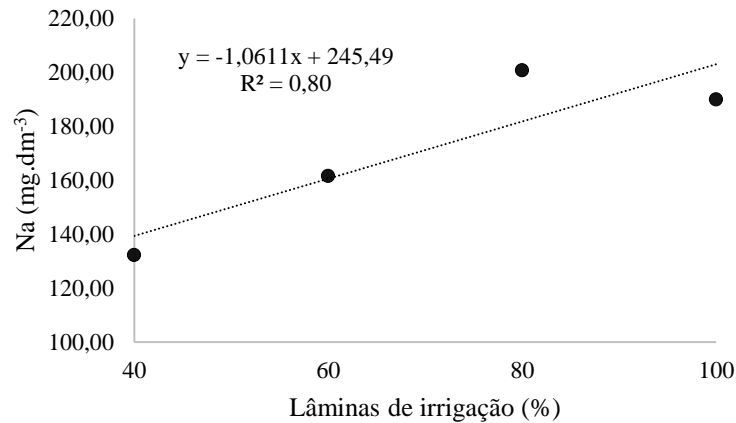


Figura 15: Teor de Na no solo x Lâminas de irrigação.

Na irrigação com L100, o teor de Na foi menor do que nos solos irrigados com L80, uma vez que a L100 ocasionou incidência de lixiviação no solo. O sódio é um elemento que ocasiona a dispersão dos coloides do solo, podendo influenciar as suas características físicas, principalmente reduzindo o espaço poroso e ocasionando maior compactação (NOVAIS et al., 2007).

Apesar de ocasionar vários problemas agrícolas, o Na, de acordo com Epstein e Bloom (2006), pode ser considerado um micronutriente para algumas culturas que apresentam via CAM de absorção de carbono, sendo importante sua presença no solo em pequenas quantidades.

O teor de cálcio no solo irrigado com AP sintética respondeu de forma significativa para as variáveis AP e LAM (Tabela 6). O aumento da concentração de AP sintética na água de irrigação resultou no aumento do teor de Ca no solo, sendo 1,10 cmol_c.dm⁻³ quando irrigado com A0 e de 1,45 cmol_c.dm⁻³ ao receber a A3 (Figura 16A).

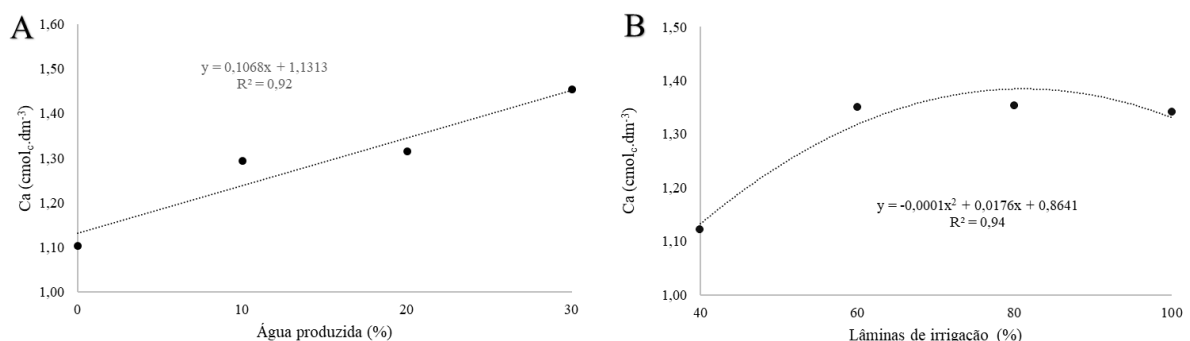


Figura 16: A- Teor de Ca no solo x água utilizada na irrigação, B- Teor de Ca no solo x lâmina de irrigação.

Já em relação às lâminas de irrigação, o valor de Ca no solo diminuiu com a utilização da L40 e foi estatisticamente igual quando utilizadas as demais LAM. A concentração do nutriente no solo foi de $1,12 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para L40 e de $1,35 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para os outros tratamentos (Figura 16B).

O teor de Ca no solo no início do experimento era de $1,35 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$, concentração que aumentou com a utilização do tratamento A3, permaneceu igual para os tratamentos L60, L80 e L100 e reduziu na presença dos demais tratamentos.

A quantidade de Mg encontrada no solo ao fim do período experimental respondeu de forma significativa a interação dos fatores AP x LAM (Tabela 6). Como é possível observar na Figura 17A, para todas as lâminas de irrigação utilizada, a AP sintética promoveu maior teor de Mg no solo.

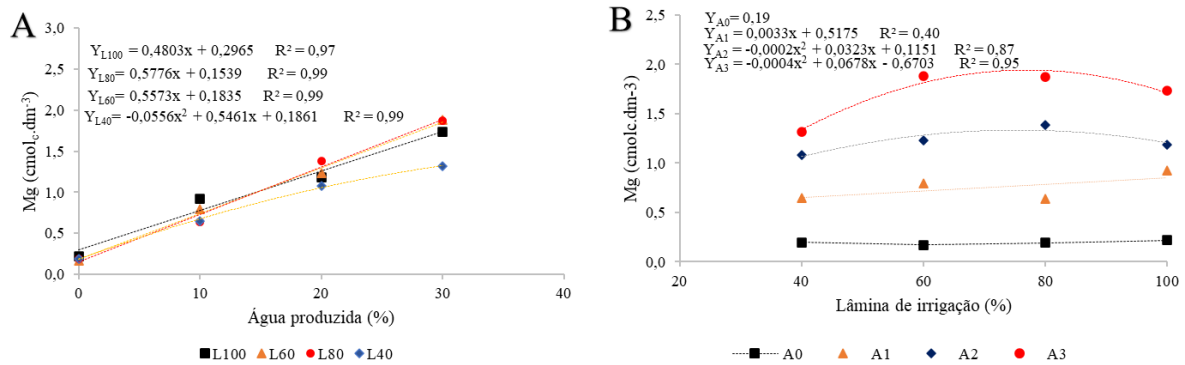


Figura 17: A- Teor de Mg no solo x água de irrigação. B- Teor de Mg no solo x Lâmina de irrigação.

Ao fim do experimento, os solos irrigados com A0 encontravam-se com o teor do nutriente no solo considerado como muito baixo, os irrigados com A1 e A2 são considerados baixos e médio para o solo que recebeu A3, de acordo com Ribeiro et al. (1999). As médias do teor de Mg foi de 0,19, 0,75, 1,22 e 1,70 $\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$ para A0, A1, A2 e A3, respectivamente, ao passo que no início do experimento o solo tinha $1,35 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$.

O efeito das lâminas de irrigação em relação a cada água isoladamente não foi significativo nos solos irrigados com A0, porém respondeu significativamente para os solos irrigados com as diluições de água produzida. A L40 foi a lâmina de irrigação responsável pela menor concentração de Mg no solo, com média de $0,82 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. As demais lâminas obtiveram médias iguais entre elas, de $1,02 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$. O teor de Mg encontrado nos solos foi considerado baixo para todas as lâminas utilizadas, de acordo com classificação de Ribeiro et al. (1999).

Entre os micronutrientes e metais pesados avaliados, o Br foi o único que apresentou resposta significativa pelo teste F, respondendo à interação dos fatores AP x LAM (Tabela 6). Para a L100 e L60, a utilização de água produzida na irrigação ocasionou aumento da concentração de Br no solo. Quando utilizadas a L80 e L40, a AP não influenciou o teor do Br nos solos estudados (Figura 18A).

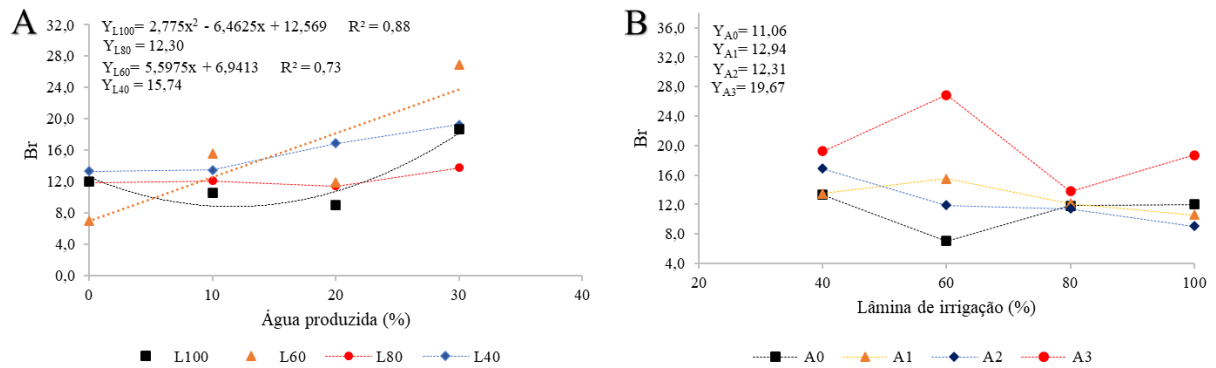


Figura 18: A- Teor de Br no solo x água de irrigação. B- Teor de Br no solo x Lâmina de irrigação.

Observando a figura 18B, nota-se que as lâminas de irrigação não influenciaram de forma isolada o teor de Br no solo. O teor médio ocasionado de Br pelas águas de irrigação foi de 11,06, 12,94, 12,31 e 19,67 mg.dm⁻³ para A0, A1, A2 e A3, respectivamente.

Para os demais elementos, não se obteve respostas significativas para os tratamentos avaliados, sendo as suas médias no solo apresentadas na Tabela 6. A maior quantidade de elementos adicionados ao solo pela AP sintética e pelas LAM, como Mn, Zn e B, foi absorvida pela moringa e/ou lixiviada no solo, não apresentando respostas significativas.

4.1.2 Tensões de água no solo e Kc da moringa

A medida da tensão de água no solo ou potencial matricial determina a tensão com que a água está retida no solo: quanto maior essa tensão, maior dificuldade as plantas encontrarão para absorver a água (AZEVEDO E SILVA, 1999). As leituras de tensão realizadas ao longo do experimento estão dispostas em gráficos da Figura 19.

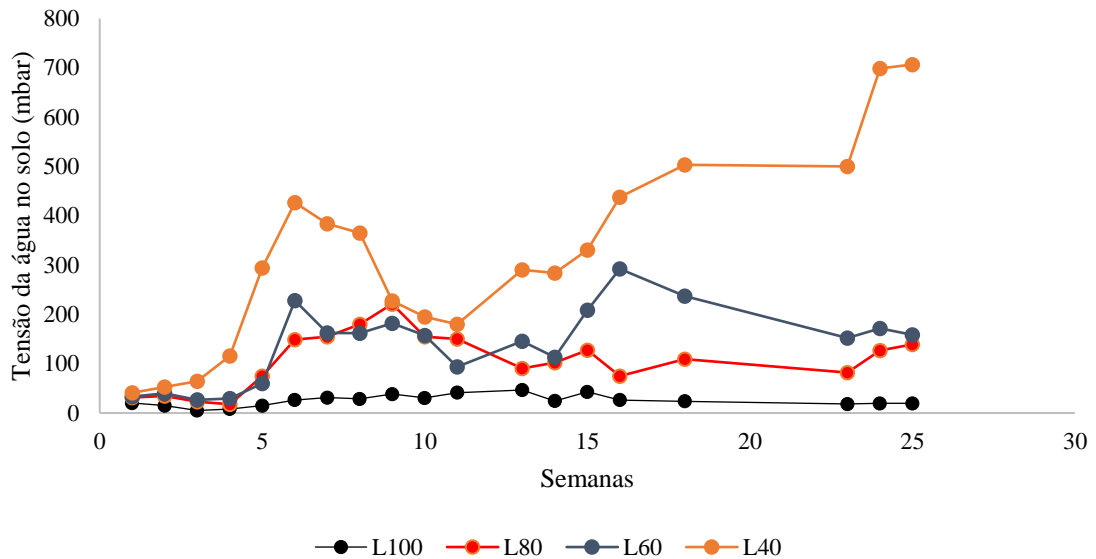


Figura 19: Tensões de água no solo para as lâminas de irrigação aplicadas.

Pode-se observar que as tensões de água no solo para as maiores lâminas foram menores do que nas menores lâminas. Para as lâminas de 100% da ET_c, a tensão manteve-se baixa ao longo de todo o período experimental, com média 25,32 mbar. As lâminas de 60 e 80% da ET_c apresentaram tensões mais próximas, as médias para esses tratamentos ao longo do tempo foram de 107,51 e 139,66 mbar, respectivamente.

A L40 ocasionou a maior tensão de água no solo ao longo de todo o período, o que dificulta a retirada da água do solo pelas raízes das plantas. A partir da 15ª semana, a tensão para L40 atingiu níveis mais elevados, com o seu ponto máximo de 706 mbar e a média para o tratamento igual a 320,93 mbar.

A irrigação do solo, por ser utilizado o método de irrigação localizada, não ocasiona umedecimento de todo o solo presente na área, nesse caso a fração de solo molhado (FM) representa a área do vaso, o qual estava propício à evaporação. A área ocupada pelo espaçamento entre plantas foi de 2,06 m², ao passo que a área do vaso foi de 0,14 m². Desta forma, o coeficiente de evaporação (K_e) do solo cultivado com moringa foi igual à fração molhada do solo, de 0,068 ao longo de todo o período (Figura 20). Para determinar K_e, o coeficiente de redução de evaporação do solo (K_r) foi considerado igual a 1, uma vez que o turno de rega foi de um dia.

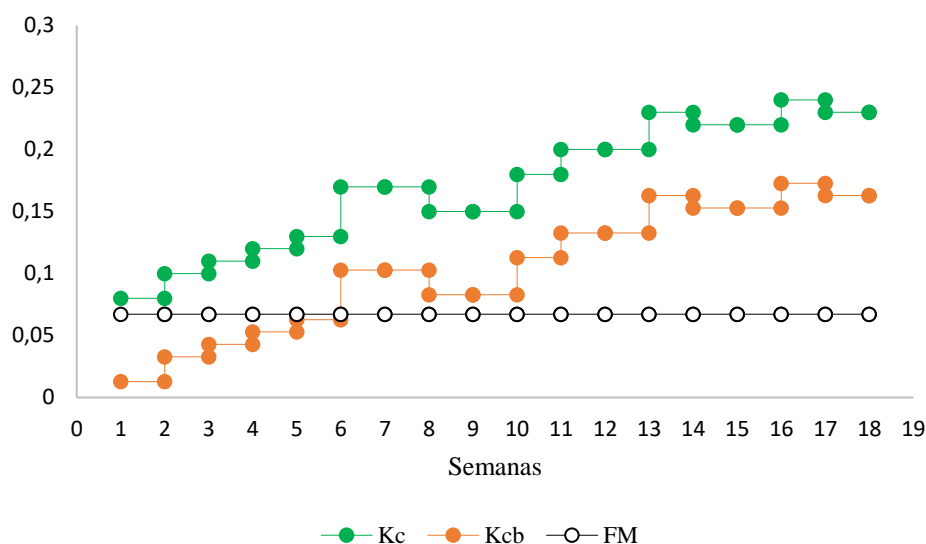


Figura 20: Kc, Kcb e FM da Moringa oleífera LAM submetida a irrigação localizada.

O coeficiente de cultivo (K_c) ao longo da primeira até a décima oitava semana de cultivo variou de 0,08 a 0,24, sendo o aumento de K_c inicial mais lento até a sexta semana e um aumento maior após esse período, principalmente em virtude do elevado aumento de área foliar da cultura. Por sua vez, o coeficiente basal ou coeficiente de transpiração (k_{cb}) foi o K_c menos o $K_e = FM$. Pode-se observar que no início do ciclo o k_{cb} da moringa foi inferior ao K_e , porém a partir da sexta semana, com o desenvolvimento acelerado da moringa, o k_{cb} passou a ser maior que K_e . O valor de K_c dual da moringa se alterou entre 0,01 e 0,17, tendo sido o aumento do índice de área foliar da cultura o principal responsável pelo aumento desse valor (Figura 20).

Quando comparado a K_c de outras culturas, o da moringa foi relativamente baixo. Santos et al. (2017) encontraram valores de K_c para moringa em torno de 0,73 e 1,73, valor muito elevado para cultura e bem distinto do presente trabalho. O motivo dos valores de K_c obtidos para a moringa é o uso da irrigação por método localizado, o que reduz a evaporação da água da superfície do solo. Além disso, a planta apresenta alta adaptabilidade ao clima do semiárido, reduzindo principalmente área foliar em períodos de temperatura elevadas, reduzindo a transpiração da cultura.

4.2 Características biométricas ao longo do período experimental

4.2.1 Altura

A altura da moringa não respondeu de forma significativa pelo teste F para os tratamentos avaliados (Tabela 7).

Tabela 7: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para altura da moringa ao longo do período experimental.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F			
		ALT1	ALT3	ALT5	ALT7
Bloco	3	0,2321	0,2497	0,3277	0,5912
AP	3	0,1197	0,3352	0,4199	0,5897
L	1	0,0352	0,7305	0,3685	0,3047
Q	1	0,2597	0,2310	0,2205	0,5299
LAM	3	0,6515	0,1841	0,0347	0,2027
L	1	0,3600	0,0579	0,0043	0,0347
Q	1	0,6240	0,5106	0,7689	0,9244
AP x LAM	9	0,1838	0,4787	0,0595	0,1057
Resíduo	45				
Total	63	-	-	-	-
CV (%)		25,55	11,21	11,34	11,97
Média		65,60	238,80	279,40	286,87

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo, ALT: altura.

A altura da planta foi estatisticamente igual para todos os tratamentos estudados nos períodos de avaliação, mostrando que a moringa conseguiu crescer normalmente perante a AP sintética e as LAM utilizadas, mostrando a capacidade de adaptação dessa cultura às diversas condições (Figura 21 e Figura 22).

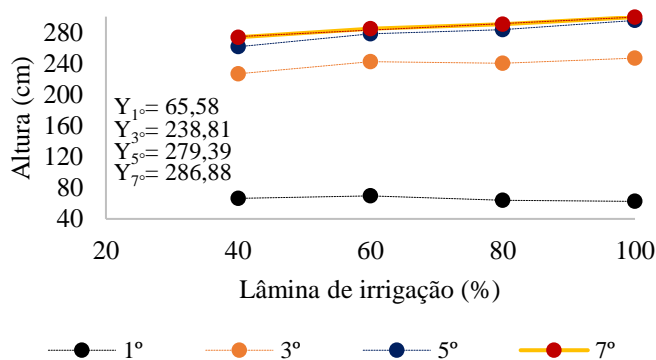


Figura 21: Altura da moringa ao longo do período experimental x lâmina de irrigação.

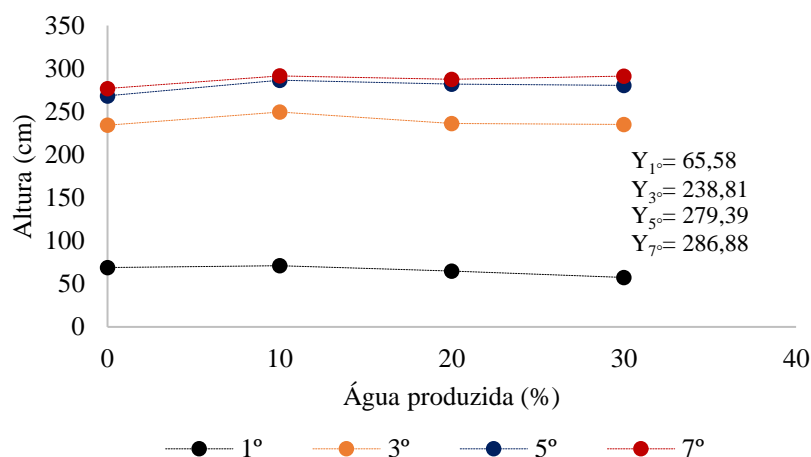


Figura 22: Altura da moringa ao longo do período experimental x água de irrigação.

A altura média da planta foi 65,58, 238,81, 279,39 e 286,88 cm ao fim do 1º, 3º, 5º e 7º mês experimental. O crescimento inicial da moringa foi acelerado, mostrando que do 1º para o 3º mês a altura da planta mais que triplicou. Posteriormente ao período de quatro a cinco meses, as plantas passaram a destinar seus fotoassimilados e nutrientes à produção de frutos, tornando seu crescimento lento.

Em trabalho realizado por Oliveira Júnior et al. (2021), lâmina de irrigação reduzida a 50% da Etc influenciou negativamente na altura de mudas de moringa, resultado distinto do obtido pelo presente trabalho. As plantas mais jovens são mais sensíveis ao estresse hídrico do que plantas em estágio mais avançado de desenvolvimento, principalmente em virtude do menor desenvolvimento radicular das plantas jovens.

Estudando o desenvolvimento inicial da moringa irrigada com águas de diferentes níveis de salinidade, Tavares Filho et al. (2020) observaram que as alturas das plantas foram afetadas por água de salinidades elevadas. Porém, ainda segundo os autores, com a utilização de água com CE de 2,5 dS.m⁻¹ a altura da planta encontrou-se próximo das plantas irrigadas com água de poço, baixa salinidade.

Com a utilização de água de salinidade muito elevada, o potencial de água no solo se torna muito negativo, podendo provocar o efeito da lasmólise, onde a planta pode perder a água dos seus tecidos e células em vez de absorver água (DIAS et al., 2016). Esse processo, por sua vez, afeta o desenvolvimento das plantas. Em trabalho realizado por Oliveira et al. (2013), a altura no desenvolvimento inicial da moringa também foi influenciada pela salinidade da água de irrigação maiores que 2 dS.m⁻¹.

4.2.2 Número de folhas

O número de folhas (NF) da moringa respondeu de forma significativa pelo teste F ao 3º mês para o fator lâmina de irrigação e ao 5º e 7º mês para águas de irrigação (Tabela 8).

Tabela 8: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para número de folhas da moringa ao longo do período experimental.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F			
		NF1	NF3	NF5	NF7
Bloco	3	0,0070	0,2859	0,3225	0,6054
AP	3	0,4560	0,7504	0,0480	0,0242
L	1	0,2412	0,3411	0,3420	0,0678
Q	1	0,6891	0,6690	0,0028	0,0178
LAM	3	0,1571	0,0027	0,3282	0,2472
L	1	0,0461	0,0005	0,0638	0,0774
Q	1	0,9359	0,1725	0,1401	0,3285
AP x LAM	9	0,8655	0,1311	0,1774	0,2254
Resíduo	45				
Total	63	-	-	-	-
CV (%)		14,26	11,63	32,01	39,95
Média		10,90	22,50	31,70	34,84

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo. NF: número de folhas.

As lâminas de irrigação utilizadas no experimento não ocasionaram efeito significativo no número de folhas da moringa durante o 1º, 5º e 7º meses. O NF no 3º mês de desenvolvimento da cultura aumentou com o aumento das lâminas de irrigação, por ser o período em que o desenvolvimento vegetativo ocorreu de forma mais intensa, possivelmente a disponibilidade de água no solo se tornou fundamental para que a planta apresentasse o maior número de folhas (Figura 23). Apesar do maior número de folhas, isso não implica que a área foliar era maior, pois os dois fatores não são necessariamente diretamente proporcionais.

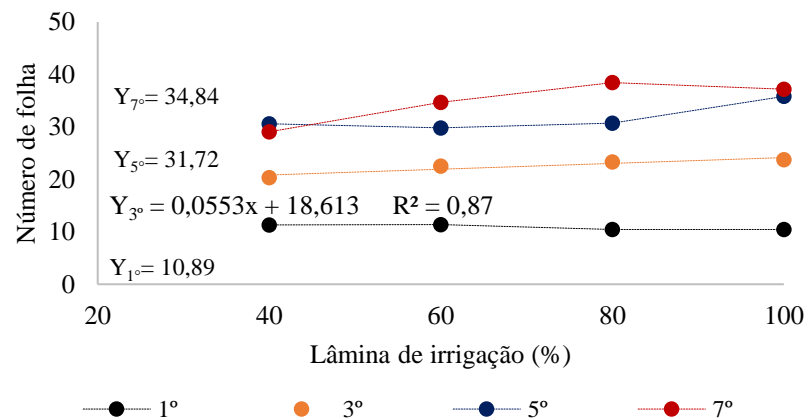


Figura 23: Número de folhas ao longo do período experimental x lâmina de irrigação.

O número de folhas da moringa em relação as águas de irrigação, mostra que no primeiro e terceiro mês não houve influência do fator para o NF. Já no quinto e sétimo mês de avaliação, a A0 proporcionou o menor número de folhas, sendo que com as diluições de AP o número de folha das plantas aumentou. Como ao 5° e 7° mês foi o período da planta destinado a produção de vargens, possivelmente o maior aporte nutricional proporcionado pela AP implicou em maior NF. A1 foi o tratamento que promoveu maior valor dessa variável para o período em questão (Figura 24).

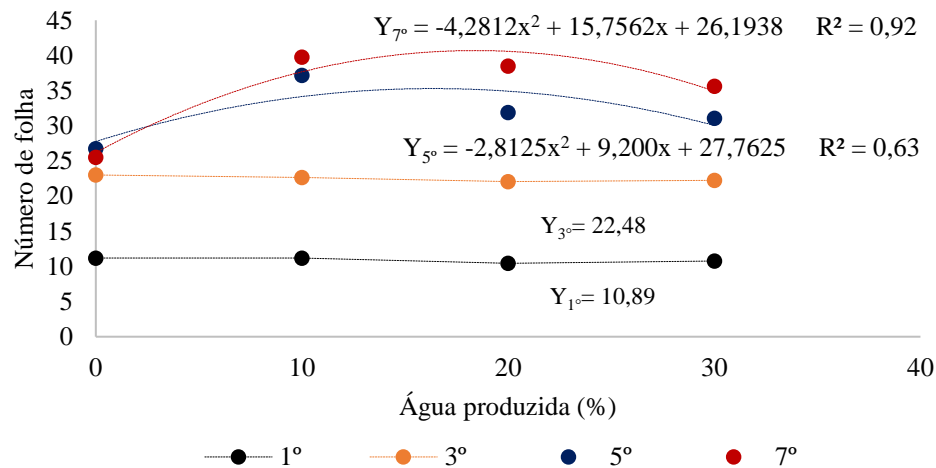


Figura 24: Número de folhas ao longo do período experimental x lâmina de irrigação.

Com o passar do tempo, o desenvolvimento vegetativo da moringa proporcionou também aumento do NF em relação ao mês anterior, de forma que esse valor foi de 10,89, 22,48, 31,72 e 34,84 para o 1°, 3°, 5° e 7° mês, respectivamente. Com o aumento do comprimento do caule e número de ramos, maior tende a ser o número de nós para emissão de folhas.

4.2.3 Área foliar

No primeiro mês de avaliação experimental, não foi determinado área foliar das plantas, pois ainda estava sendo desenvolvida a metodologia para o determinado fim. Para o 3° e 7° mês de avaliação, a área foliar não respondeu significativamente para os tratamentos avaliados. Já para o 5° mês, houve uma interação entre os tratamentos AP x LAM (Tabela 8).

Tabela 9: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para área foliar da moringa ao longo do período experimental.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F		
		AF3	AF5*	AF7
Bloco	3	0,5636	0,8526	0,2176
AP	3	0,4282	0,0834	0,2644
L	1	0,7462	0,7049	0,5350
Q	1	0,6005	0,1968	0,3853
LAM	3	0,0200	0,0088	0,4252
L	1	0,0056	0,0014	0,2788
Q	1	0,1555	0,2350	0,3272
AP x LAM	9	0,0747	0,0010	0,2594
Resíduo	45			
Total	63	-	-	-
CV (%)		29,61	21,27	37,72
Média		11231,40	2069,63	3045,14

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo. * Dados transformados em raiz quadrada, AF: área foliar.

Nos meses 3 e 7 de experimento, as médias de área foliar foram de 11231,44 cm² e de 3045,71 cm², respectivamente. Apesar da ausência de diferença para cada período isolado, pode-se observar que ao terceiro mês a média de AF era maior do que as médias referentes ao mês 7 (Figura 25), mesmo que no referido mês o número de folhas fosse superior. Isso ocorreu porque as folhas no mês final do trabalho eram de tamanhos bem menores que as encontradas aos 90 dias, o que está relacionado às maiores temperaturas do ambiente nesse período.

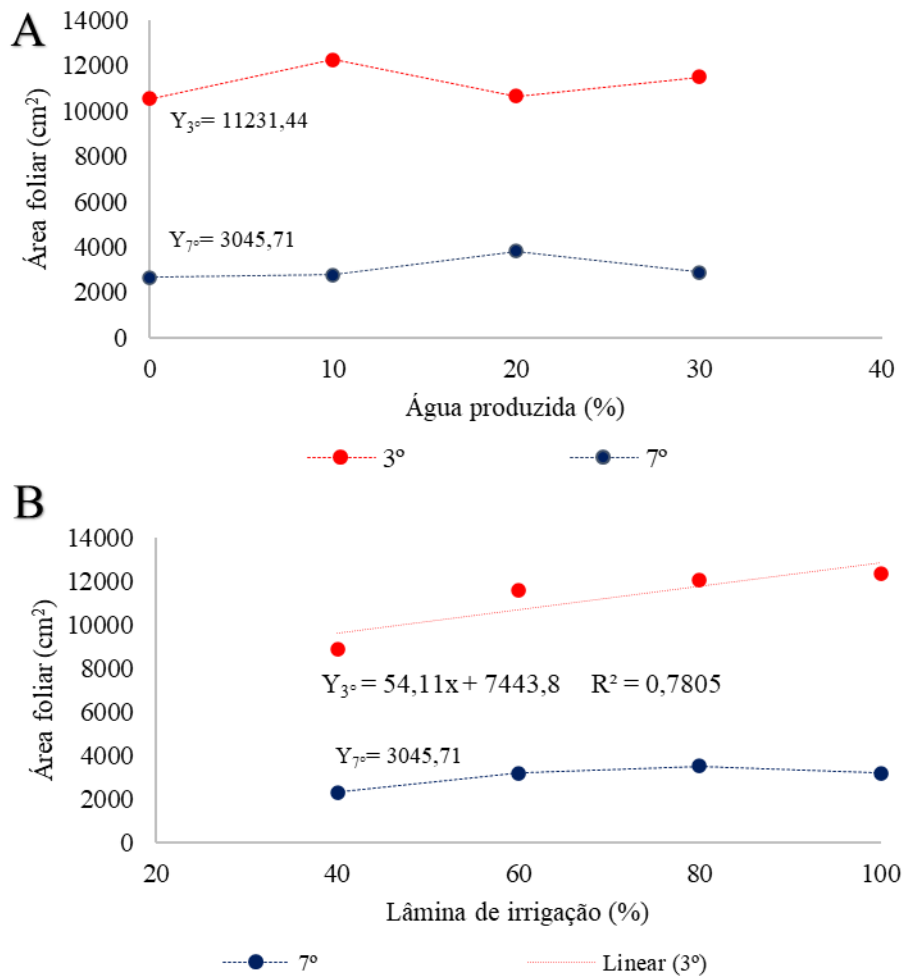


Figura 25: A- Área foliar para o 3° e 7° mês experimental x água de irrigação, B- Área foliar para o 3° e 7° mês experimental x lâmina de irrigação.

A área foliar aos 150 dias após início da aplicação dos tratamentos apresentou resposta significativa para interação de fatores. Pode-se observar na Figura 26A que as lâminas de irrigação reduzidas ocasionaram menor área foliar para as águas A1 e A3. Quando utilizados A0 e A2, não houve respostas significativas para as lâminas de irrigação.

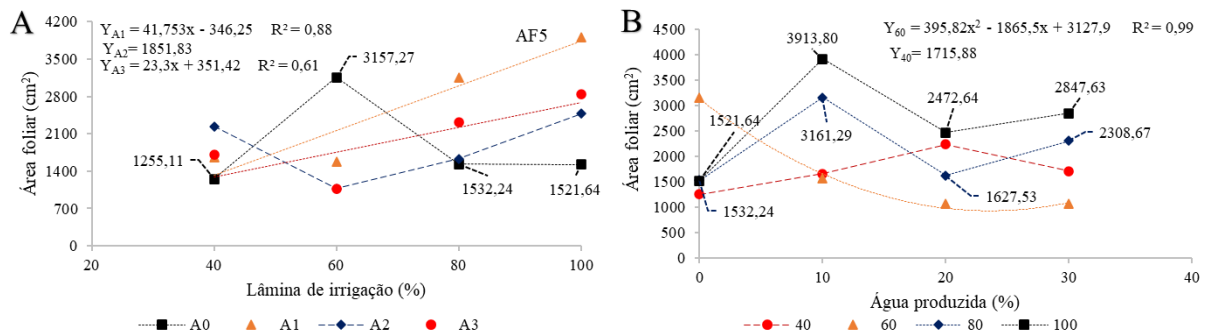


Figura 26: A- Área foliar x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação, B- Área foliar x água utilizada na irrigação.

Ao observar as LAM isoladas em relação às águas de irrigação, nota-se que apenas a L60 apresentou resposta significativa para as águas utilizadas, de forma que a AF reduziu com as maiores quantidades de AP utilizadas (Figura 26B). A resposta obtida para AF aos 150 dias não seguiu um padrão bem definido, acreditando-se que as plantas se encontravam em um período de intenso processo de substituição de folhas mais velhas por folhas novas, ocasionando esses resultados.

4.2.4 Diâmetro da base do caule (DB)

O diâmetro da base do caule não apresentou resposta significativa para os tratamentos nos primeiros 30 dias de desenvolvimento. Nas medições aos 90, 150 e 210 dias de desenvolvimento, apresentou interação entre os fatores AP x LAM (Tabela 10).

Tabela 10: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para diâmetro da base do caule da moringa ao longo do período experimental.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F			
		DB1	DB3	DB5	DB7
Bloco	3	0,1436	0,6844	0,6817	0,5713
AP	3	0,0706	0,9123	0,9805	0,8395
L	1	0,0168	0,9442	0,8242	0,8959
Q	1	0,6076	0,7183	0,7526	0,4220
LAM	3	0,2831	0,0297	0,0142	0,0038
L	1	0,0770	0,0043	0,0013	0,0003
Q	1	1,0000	0,8739	0,8881	0,6838
AP x LAM	9	0,1093	0,0147	0,0223	0,0496
Resíduo	45				
Total	63	-	-	-	-
CV (%)		15,95	11,74	13,02	13,48
Média		12,10	33,20	39,80	43,63

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo, DB: diâmetro da base do caule.

Com o passar dos meses, o diâmetro da base do caule aumentou, sendo o aumento mais expressivo no período de 30 a 90 dias, com médias de 12,10 e 33,20 cm, respectivamente. O efeito da interação foi semelhante para as três avaliações que apresentaram esse efeito (Figura 27A, 27C e 27E). Observando as diferentes águas de irrigação em relação às lâminas, observa-se que quando utilizado A0 houve interação significativa, porém não se enquadrando para os modelos linear ou quadrático, com o maior valor de DB para A0L60 nos três meses avaliados.

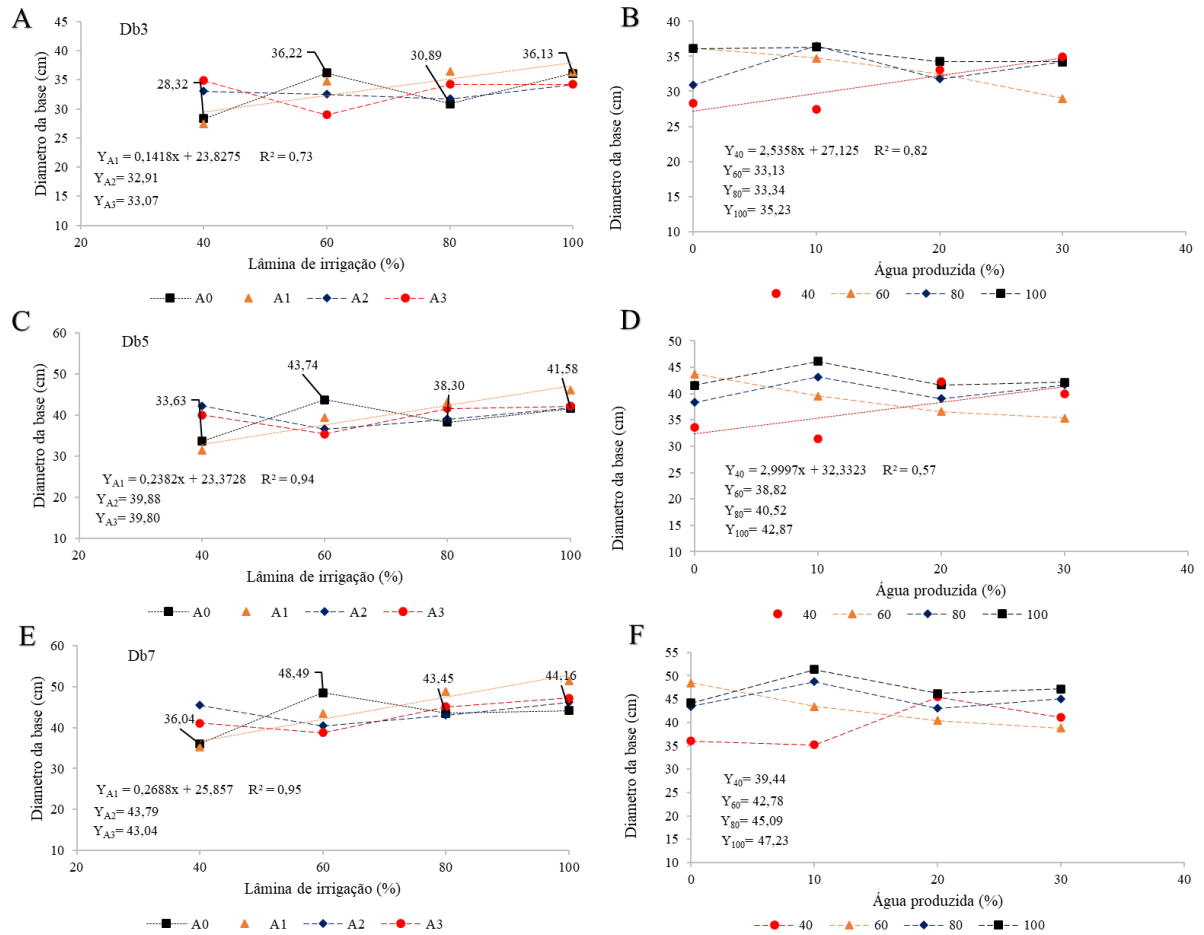


Figura 27: A- Diâmetro da base do caule para o 3º mês em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação, B- Diâmetro da base do caule para o 3º mês em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação, C- Diâmetro da base do caule para o 5º mês em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação, D- Diâmetro da base do caule para o 5º mês em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação, E- Diâmetro da base do caule para o 7º mês em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação utilizada, F- Diâmetro da base do caule para o 7º mês em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação.

Quando irrigado com A1, o DB reduziu em média de 42% com a utilização de lâminas deficitárias. O DB de A1L40 e A1L100, ao fim do experimento, foi de 35,19 e 51,34 cm, respectivamente. Quando irrigado com A2 e A3, não houve influência significativa da LAM, com médias de DB ao 7º mês de 43,79 cm para A2 e 43,04 cm para A3 (Figuras 27A, 27C e 27E).

Por sua vez, o efeito das águas de irrigação para cada LAM isolada não se mostrou significativo estatisticamente para L60, L80 e L100 nos períodos avaliados, sendo as médias de DB de 42,78, 45,09 e 47,23 cm, respectivamente, ao fim do experimento. Quando a moringa foi irrigada com L40, o DB respondeu de forma significativa à utilização de AP no 3º e 5º mês de avaliação. Aos 90 dias, o DB foi aproximadamente 23 % maior para A3L100 em relação a A0L100 e 19 % aos 150 dias experimentais (Figuras 27B, 27D e 2F).

As águas não responderam de forma significativa para L40 no 7º mês, porém é possível observar que a utilização de A2 e A3 associada a essa lâmina favoreceu maior diâmetro da base do caule quando comparado a A0 e A1. O maior teor de elementos nutricionais na AP favoreceu os maiores diâmetros da base do caule da moringa, principalmente quando associado às maiores lâminas.

4.2.5 Diâmetro do caule na altura do peito (DM)

O DM da moringa aos 30 dias foi estatisticamente igual para todas as plantas, independentemente do tratamento aplicado. Aos 90 dias, o DM apresentou resposta significativa para LAM e para os 150 e 210 dias o DM respondeu de forma significativa para interação entre os fatores AP x LAM (Tabela 11).

Tabela 11: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para diâmetro na altura do peito do caule da moringa ao longo do período experimental.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F			
		DM1	DM3	DM5	DM7
Bloco	3	0,2463	0,5323	0,3806	0,378
AP	3	0,3692	0,6686	0,6685	0,2049
L	1	0,1952	0,8687	0,4262	0,3005
Q	1	0,8269	0,4492	0,5114	0,2348
LAM	3	0,5158	0,0292	0,0308	0,0229
L	1	0,8960	0,0042	0,0032	0,0029
Q	1	0,9580	0,3917	0,8925	0,6774
AP x LAM	9	0,7304	0,1621	0,017	0,0059
Resíduo	45				
Total	63	-	-	-	-
CV (%)		19,31	18,19	22,37	20,45
Média		8,40	13,30	18,80	20,98

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo, DM: diâmetro do caule na altura do peito.

Aos 30 dias, o DM médio foi 8,4 cm, não apresentando influência dos fatores sobre a variável. Aos 90 dias, o DM apresentou resposta significativa para as lâminas de irrigação, onde o menor diâmetro foi encontrado com a utilização de 40% da Etc e o maior com a irrigação de 100% da ETc, sendo DM igual a 11,80 e 14,27 cm, respectivamente (Figura 28).

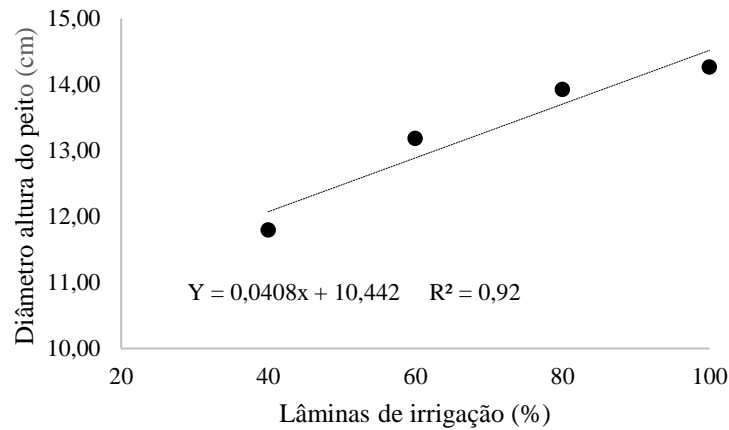


Figura 28: Diâmetro do caule na altura do peito x lâminas de irrigação.

O DM para as duas últimas avaliações respondeu de forma significativa à interação dos fatores AP x LAM, sendo essas respostas bem semelhantes para os dois momentos. Quando a moringa foi irrigada com A0, A2 e A3, as LAM não influenciaram o DM, que teve médias de 19,23, 20,81 e 21,45 cm, respectivamente, ao fim do experimento (Figura 29A e 29C).

Já quando irrigado com A1, a redução das lâminas de irrigação ocasionou plantas com DM menor, sendo igual a 18,64 e 22,88 cm para as A1L40 e A1L100, respectivamente (Figura 29A e 29C). Essas respostas estão diretamente relacionadas às respostas apresentadas para DB.

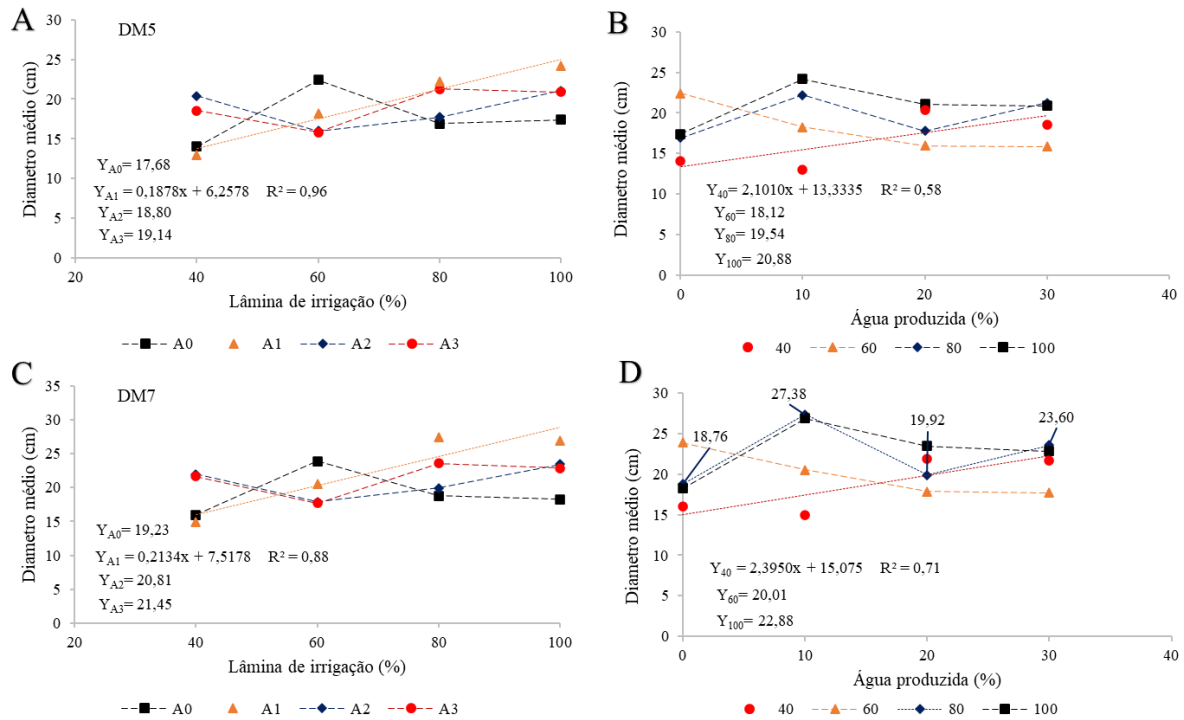


Figura 29: A- Diâmetro altura do peito para o 5º mês em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação, B- Diâmetro altura do peito para o 5º mês em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação, C- Diâmetro altura do peito para o 7º mês em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação, D- Diâmetro altura do peito para o 7º mês em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação.

Com relação ao efeito das águas de irrigação em relação a cada LAM isoladamente, observa-se que com a irrigação de L60, L80 e L100 não houve diferença estatística para o 5º mês, tampouco efeito das águas para L60 e L100 no 7º mês (Figura 29B e 29D).

O DM do tratamento L40 sofreu interferência das águas de irrigação, reduzindo o DB com a redução da quantidade de AP. Isso mostra que quando submetido a lâminas deficitárias, a utilização de águas com maior teor de elementos passíveis de utilização pelas plantas favoreceu o maior desenvolvimento do diâmetro do caule na altura do peito.

A L80 no 7º mês apresentou diferença estatística de valores, não se enquadrando, porém, no modelo linear e quadrático, sendo a maior média de DB para A1L80 e a menor para A0L80, com valores de 19,23 e 22,45 cm, respectivamente.

Analisando o desenvolvimento inicial de moringa cultivada em diferentes salinidades, Oliveira et al. (2013) observaram resposta significativa para o diâmetro da planta, porém no estudo as salinidades utilizadas eram superiores à do presente trabalho.

4.2.6 Número de ramos (NR) e volume total do caule (VC)

O número de ramos e volume de caule da moringa foram quantificados somente ao fim do experimento. Essas variáveis não apresentaram respostas significativas para o fator água de irrigação e interação dos fatores AP x LAM, apresentando significância para lâminas de irrigação (Tabela 12).

Tabela 12: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para número de ramos e volume do caule.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F	
		VC	NR*
Bloco	3	0,4096	0,0700
AP	3	0,5528	0,5350
L	1	0,4046	0,3855
Q	1	0,3306	0,4371
LAM	3	0,0254	0,0027
L	1	0,0030	0,0040
Q	1	0,6115	0,0423
AP x LAM	9	0,0612	0,6770
Resíduo	45		
Total	63	-	-
CV (%)		30,97	21,21
Média		0,18	4,72

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo, VC: volume do caule, NR: número de ramos, *: Dados transformado em raiz quadrada.

O número de ramificações do caule da moringa foi reduzido com a utilização de lâminas deficitárias. As lâminas reduzidas apresentaram NR semelhantes entre si, ao passo que as plantas irrigadas com L100 se destacaram em relação às demais (Figura 30A). O NR alterou de 4 para 6,25 quando irrigado com L40 e L100, respectivamente.

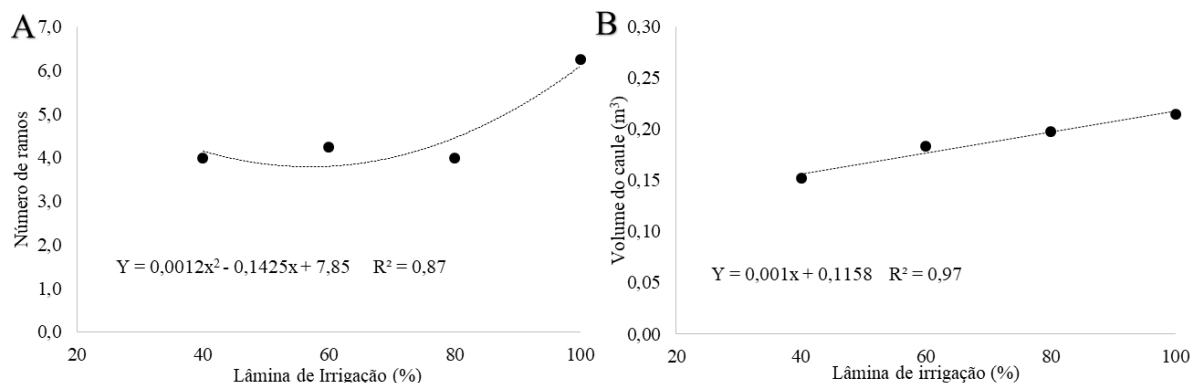


Figura 30: A: Número de ramos x Lâminas de irrigação, B: Volume do caule x Lâminas de irrigação.

O volume do caule também apresentou resposta significativa para as lâminas de irrigação estudadas. Os VC foram de 0,15, 0,18, 0,20 e 0,21 m³ para L40, L60, L80 e L100, respectivamente. Entende-se, dessa forma, que as menores lâminas de irrigação ocasionaram redução do NR e do VC da moringa.

4.3 Produção e teor de óleo nas sementes da *Moringa oleífera* LAM

4.3.1 Produção

Não se verificou efeito significativo de interação entre os fatores de variação água produzida (AP) e lâmina de irrigação (LAM) para número de grãos (NG), massa dos grãos (MG), número de grãos por vargens (NGV) e peso médio dos grãos (PMG) e, havendo efeito significativo dessa interação, para o fator número de cápsulas (NC). Houve efeito significativo para o fator água produzida sintética, para número de grãos (NG), massa dos grãos (MG) (Tabela 13).

Tabela 13: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para número de cápsulas (NC), número de grãos (NG), massa dos grãos (MG), número de grãos por vargens (NGV) e peso médio dos grãos (PMG).

FV	GL	Significância estatística pelo teste F				
		NV*	NG*	MG*	NGV*	PMG*
Bloco	3	0,75187	0,64175	0,62159	0,43798	0,03996
AP	3	0,0000	0,00675	0,00213	0,91066	0,78872
L	1	0,0000	0,00225	0,00088	0,5803	0,4987
Q	1	0,00139	0,17134	0,13523	0,8964	0,4544
LAM	3	0,5763	0,49528	0,57125	0,23508	0,15229
L	1	0,0023	0,1654	0,2677	0,0442	0,0550
Q	1	0,0476	0,7901	0,8827	0,8081	0,2843
AP x LAM	9	0,0101	0,48399	0,30213	0,32198	0,66715
Resíduo	45	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-
CV (%)		24,27	38,76	33,41	25,68	7,07
Média		3,93	9,30	4,45	2,37	0,48

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo, *: dados transformados em raiz quadrada.

A AP utilizada na irrigação da moringa influenciou positivamente o NG e a MG, de forma que as plantas que receberam 0 % de AP obtiveram 50,06 grãos/plantas e 11,75 g de grãos/planta e as que receberam 30 % de AP produziram 134,12 grãos/plantas e 28,99 g de grãos/planta (Figura 31). O aumento na produtividade da cultura pode se dever à presença de elementos essenciais para as plantas na AP, como o potássio, cálcio e magnésio.

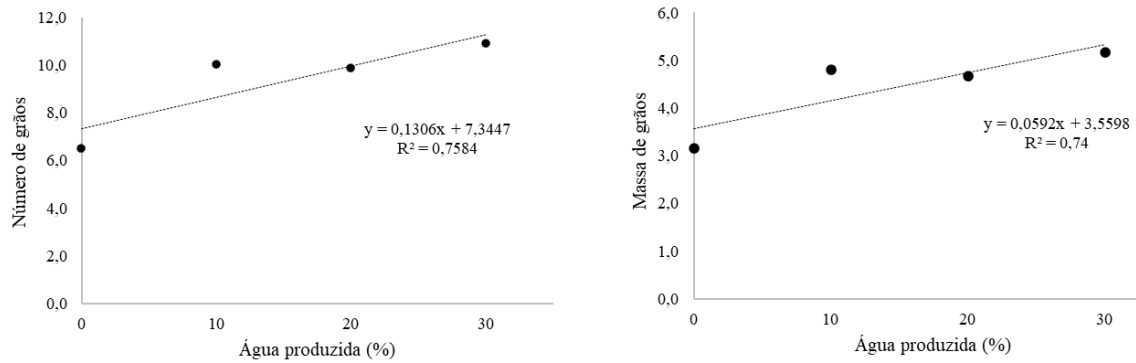


Figura 31: A- Número de grãos x quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam e B- Massa de grãos x quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.

Sedlacko et al. (2020) utilizaram AP para irrigação de girassol e trigo, observando a redução da produtividade dessas culturas com a presença da AP, resultado divergente do obtido pelo presente trabalho com *Moringa oleífera* LAM. O peso médio dos grãos foi de 0,24 g, valor próximo aos encontrados por outros autores, como Stadlander e Becker (2017) e Al-Juhaimi et al. (2016).

A interação entre AP sintética x lâmina de irrigação interferiu a variável NC, verificando-se que o NC é estatisticamente igual para todas as águas de irrigação, exceto para A0, que reduz o NC com a aplicação de L100 (Figura 32).

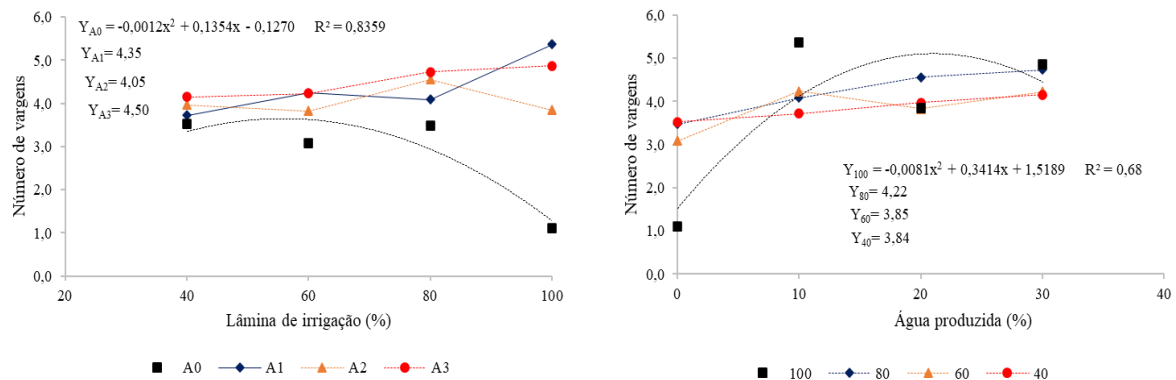


Figura 32: A- Número de cápsulas em função da lâmina de irrigação para cada água de irrigação utilizada e B- Número de cápsulas em função da água utilizada na irrigação para cada lâmina de irrigação utilizada.

O A0L100 foi responsável pelo menor NC entre os tratamentos avaliados, e o A1L100 foi responsável pelo maior NC. A menor produção de vargens encontrada em A0L100 pode estar associada ao método de lixiviação controlada, ao qual os vasos foram submetidos para determinação da quantidade de água a ser utilizada na irrigação.

4.3.2 Teor de óleo na semente

O teor de óleo na semente da moringa não sofreu interferência dos tratamentos analisados, sendo o teor médio obtido de 28,47 % de óleo (Tabela 14). O valor encontrado nesse trabalho foi inferior ao que é encontrado na literatura, onde o teor de óleo na semente da moringa é de 35 a 40 % (OLIVEIRA et al., 2012). Essa diferença pode estar relacionada à idade das plantas, uma vez que as sementes analisadas nesse trabalho foram obtidas a partir de plantas jovens.

Tabela 14: Teor de óleo na semente da moringa.

Água de irrigação %	Teor de óleo
A0	28,29 ± 1,80
A1	28,68 ± 1,40
A2	28,24 ± 2,21
A3	28,67 ± 2,16
Lâmina irrigação %	Teor de óleo
L100	27,81 ± 1,60
L80	28,41 ± 2,85
L60	28,43 ± 1,52
L40	29,23 ± 1,68
Média	28,47 ± 1,79

A0: 0 % de água produzida e 100% de água de abastecimento, A1: 10 % de água produzida e 90% de água de abastecimento, A2: 20 % de água produzida e 80% de água de abastecimento, A3: 30 % de água produzida e 70% de água de abastecimento, L100: 100 % da ETc da cultura, L80: 80 % da ETc da cultura, L60: 60 % da ETc da cultura, L40: 40 % da ETc da cultura.

4.4 Trocas Gasosas

Verificou-se efeito significativo do fator AP para Eficiência instantânea do uso da água (EUA) e Eficiência intrínseca do uso da água (EiUA) da moringa, não havendo significância para os demais parâmetros. O fator LAM não influenciou as trocas gasosas da cultura (Tabela 15).

Tabela 15: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para Tleaf, E, VPD, Gs, A, EUA e EiUA.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F						
		Tleaf	E	VPD	Gs	A	EUA (A/E)	EiUA (A/Gs)
Bloco	3	0,0000	0,7674	0,0000	0,4547	0,8913	0,3282	0,6775
AP	3	0,3850	0,1429	0,2424	0,0809	0,1773	0,0456	0,0310
L	1	0,2941	0,1016	0,0897	0,0679	0,7591	0,0909	0,0922
Q	1	0,1779	0,2149	0,3203	0,1233	0,7142	0,0226	0,0137
LAM	3	0,4015	0,5893	0,7046	0,6626	0,6145	0,4620	0,5311
L	1	0,4452	0,3204	0,9688	0,3286	0,2552	0,1475	0,2839
Q	1	0,4815	0,3554	0,4387	0,4515	0,4876	0,7661	0,7093
AP x LAM	9	0,7487	0,2718	0,5259	0,3320	0,5352	0,5599	0,7332
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		2,77	33,20	9,51	35,76	27,90	27,23	32,34
Média		28,66	1,78	20,80	88,01	18,53	11,14	0,23

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo. Tleaf: Temperatura da folha, E: Taxa de transpiração, VPD: Déficit de pressão de vapor, Gs: Condutância estomática, A: Taxa de assimilação de CO₂, EUA: Eficiência instantânea do uso da água, EiUA: Eficiência intrínseca do uso da água.

A EUA e EiUA pela moringa foram maiores quando a planta foi irrigada com AP sintética, sendo os maiores valores obtidos quando a cultura irrigada com 20% de AP, 12,50 umol/mmol e 0,27 umol/mmol, respectivamente. Quando a foi cultura irrigada com 30 % de AP, houve redução da EUA e EiUA, entretanto com valores ainda melhores do que o tratamento testemunha (Figura 33).

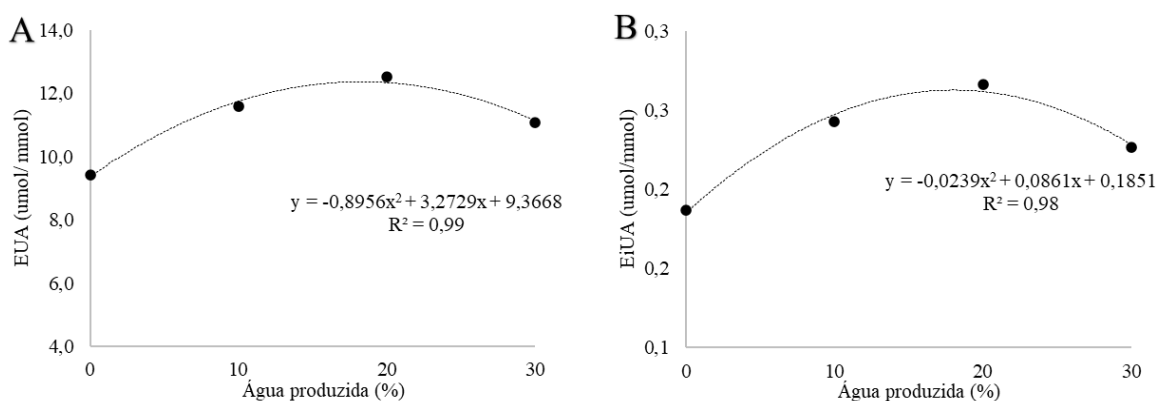


Figura 33: A- EUA x água utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, B- EiUA x água utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.

Silva et al. (2013), avaliando a *Vigna unguiculata* L sob estresse salino, observaram redução da fotossíntese, condutância estomática e da taxa de transpiração da cultura. Isso não acontece com a moringa, por ser uma planta que apresenta maior tolerância à salinidade da

água e do solo que outras culturas, como é o caso do feijão de corda.

O fato da moringa ter obtido bons resultados relacionados às suas trocas gasosas está diretamente relacionado à sua alta tolerância a estresses diversos e à irrigação com baixas diluições de AP, promovendo uma irrigação com águas de salinidades e complexibilidade reduzidas, quando comparado com a água produzida pura.

Vasconcelos et al. (2019) afirmam que mudas de moringa submetidas a estresse hídrico reduzem suas trocas gasosas, principalmente pelo fechamento dos estômatos. Entretanto, no presente trabalho, a moringa não respondeu ao estresse hídrico para os parâmetros analisados. Silva et al. (2003) estudaram espécies nativas da caatinga e observaram o comportamento de redução da transpiração dessas culturas em condições de baixa disponibilidade de água.

As lâminas deficitárias não ocasionaram redução das trocas gasosas na cultura. Essa ocorrência possivelmente está relacionada à estratégia que a cultura utilizou para se adequar ao estresse hídrico, reduzindo a área foliar em vez de fechar os estômatos.

4.5 Vazamento de eletrólitos

A utilização de AP na irrigação não ocasionou efeito significativo na umidade da folha, conteúdo relativo de água e no vazamento de eletrólitos. A LAM ocasionou efeito significativo na umidade (U) no primeiro período de avaliação e no Conteúdo relativo de água (CRA) para o segundo período de avaliação. Não houve efeito da interação dos fatores para os parâmetros avaliados (Tabela 16).

Tabela 16: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para umidade da folha (U), conteúdo relativo de água (CRA) e vazamento de eletrólitos (VE) para os períodos de avaliação 1 e 2.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F					
		%U1	%CRA1	%U2	%CRA2	%VE1	%VE2
Bloco	3	0,1190	0,0001	0,9788	0,0003	0,0063	0,0000
AP	3	0,5432	0,1335	0,4669	0,1880	0,0937	0,2933
L	1	0,2302	0,1380	0,2985	0,1791	0,0475	0,1457
Q	1	0,4148	0,0733	0,3097	0,1386	0,4364	0,2085
LAM	3	0,0136	0,0674	0,0578	0,0299	0,2463	0,6084
L	1	0,0026	0,0228	0,0615	0,0159	0,1731	0,7821
Q	1	0,2195	0,1577	0,0456	0,0843	0,5871	0,2123
AP x LAM	9	0,8207	0,8678	0,8178	0,6866	0,6234	0,5219
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-
CV (%)		4,01	6,59	5,44	6,57	23,03	22,17
Média		77,54	71,59	77,46	71,78	16,00	27,59

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo. U1: Umidade da folha para primeira análise. U2: Umidade da folha para segunda análise. CRA1: conteúdo relativo de água para primeira análise. CRA2: conteúdo relativo de água para segunda análise. VE1: vazamento de eletrólitos para primeira análise. VE2: vazamento de eletrólitos para segunda análise.

Quando submetidas a estresse hídrico, as plantas que apresentam maior resistência tendem a promover o fechamento de estômatos e preservar a umidade dos seus tecidos (MELO, 2016). Desta forma, o potássio é o nutriente de grande importância para manter a turgescência das células guarda, reduzindo, assim, a transpiração das plantas (MARSCHNER, 2012).

Pode-se observar que a moringa apresentou boa resistência ao estresse hídrico, mantendo a umidade nos tecidos foliares mesmo quando submetidos à irrigação com menores quantidade de água. Aos 105 dias de início do experimento, a umidade da folha aumentou nas plantas que receberam maior quantidade de água (Figura 34) e aos 210 dias não houve efeito significativo das lâminas para esse fator.

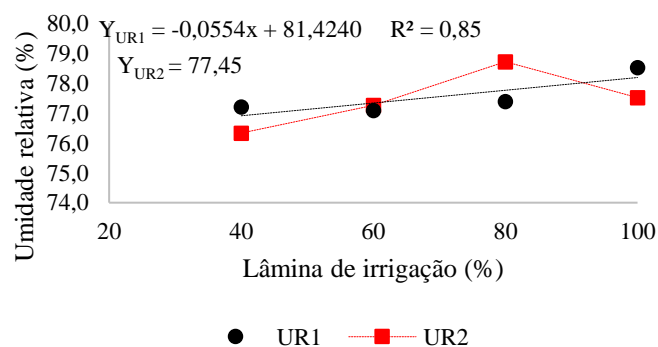


Figura 34: Umidade da folha em função das lâminas de irrigação.

A umidade média nas folhas da moringa para o segundo período de análise foi de 77,45 % e no primeiro período a umidade variou entre 77,20-78,72 %, mostrando que a cultura da moringa conseguiu desenvolver estratégias para manter a umidade de suas folhas.

O CRA não apresentou alteração estatisticamente para o primeiro período de avaliação (105 DAP), porém é possível observar que o tratamento com L100 foi responsável pelo maior valor absoluto desse fator. No segundo período avaliado, a CRA interagiu de forma significativa com as lâminas de irrigação (Figura 35).

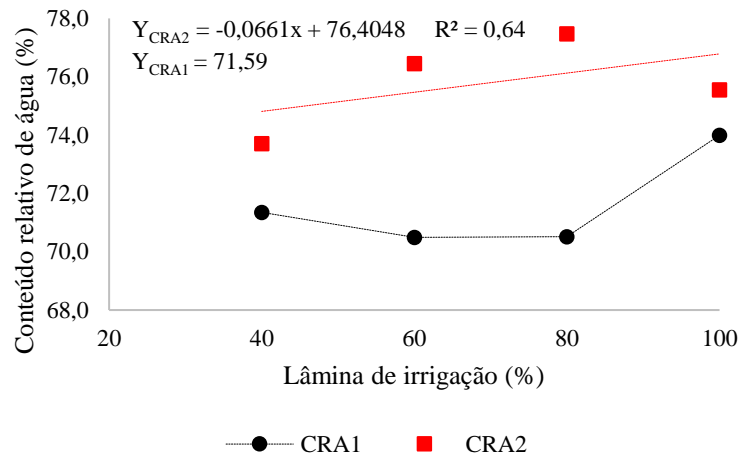


Figura 35: Conteúdo relativo de água em função das lâminas de irrigação.

Pode-se observar que com a redução das lâminas de irrigação houve uma redução da CRA na folha da moringa, uma vez que a menor quantidade de água nesses tratamentos pode reduzir a quantidade de água absorvida pela planta e, conseqüentemente, a quantidade de água presente em seus tecidos. Apesar desse estresse ocasionado, a variação total do CRA não foi considerada grande, ficando em média entre 70,49-73,99 % e 73,71-77,48% para o primeiro e segundo período avaliado, respectivamente.

A redução do conteúdo relativo de água pode ocorrer devido ao aumento da pressão osmótica da água no solo, reduzindo sua disponibilidade de absorção pelas raízes (JOUYBAN, 2012; ROY et al., 2014) ou pela própria redução da quantidade de água no solo, causada por baixa disponibilidade de água em tratamentos submetidos a estresse hídrico (CASSANITI et al., 2012; IRIGOYEN et al., 1992).

O estresse ocasionado na moringa pela redução das lâminas de irrigação e pela utilização de AP na irrigação não ocasionou danos na membrana das células, uma vez que não houve efeito significativo para o vazamento de eletrólitos (Tabela 16). O vazamento de

eletrólitos mostra o dano causado pelos estresses diversos nas células das plantas (YOKOI et al., 2002).

Silva et al. (2017) estudaram irrigação da moringa com águas salinas mostrou que com apenas 15 dias de estresse salino já foi possível observar o VE, sendo ainda mais evidenciado esse efeito com o aumento do período de estresse. Em relação ao presente trabalho, o autor utilizou águas com teor salino bem superior, o que mostra que a moringa não sente o estresse salino ocasionado pelas diluições de AP sintética utilizadas no presente trabalho.

Apesar dos tratamentos não provocarem danos nas membranas celulares, foi possível observar o VE maior no segundo período de avaliação, provocado pelo efeito residual da irrigação ao longo do tempo. Aos 130 dias de irrigação, a média de VE foi de 16,00 % e aos 260 dias essa média passou para 27,59 % (Figura 36), mostrando que a irrigação do solo ao longo do tempo ocasiona alteração das condições do solo e pode ocasionar estresse nas plantas.

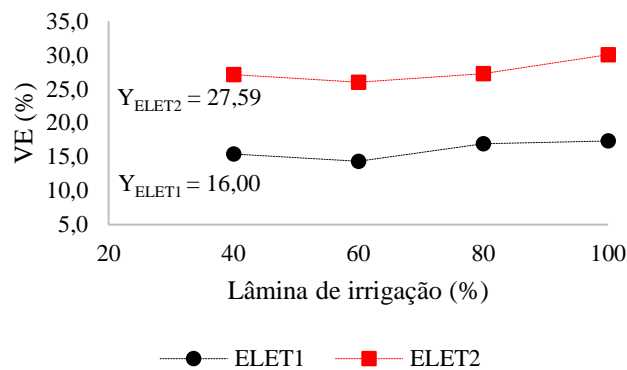


Figura 36: Vazamento de eletrólitos em função das lâminas de irrigação.

4.6 Composição da folha da *Moringa oleífera* LAM (1ª coleta)

Os fatores AP e LAM influenciaram de forma isolada apenas a acumulação do manganês na folha da moringa. Houve efeito significativo de interação entre os fatores LAM x AP na acumulação de K, Mg, Ca, Na e B na folha da cultura. Não se verificou efeito significativo dos fatores AP e LAM na acumulação dos demais elementos (Tabela 17).

Tabela 17: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de Potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), sódio (Na), boro (B), Cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e Zinco (Zn) na folha da moringa.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F									
		P	K	Mg	Ca	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Bloco	3	0,0677	0,1909	0,0178	0,0061	0,8516	0,0084	0,0731	0,0000	0,1209	0,0004
AP	3	0,4143	0,6592	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,6700	0,2216	0,0009	0,0596
L	1	0,1598	0,2139	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,5570	0,4339	0,0009	0,0131
Q	1	0,6031	0,8830	0,0000	0,0002	0,2522	0,0056	0,8076	0,0560	0,0114	0,2742
LAM	3	0,7754	0,4767	0,4723	0,0232	0,0116	0,9448	0,7998	0,7760	0,0321	0,6068
L	1	0,7476	0,9118	0,3257	0,0186	0,0133	0,5997	0,6791	0,5811	0,0048	0,8408
Q	1	0,5381	0,1343	0,5962	0,0423	0,0242	0,5990	0,3567	0,5710	0,0035	0,4042
AP x LAM	9	0,4097	0,0147	0,0434	0,0031	0,0025	0,0134	0,2967	0,1106	0,6254	0,8107
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		20,30	22,72	20,58	20,32	34,73	19,90	30,86	30,21	37,05	19,62
Média		5,47	11,31	5,60	12,14	4,43	88,99	4,13	220,95	107,45	74,81

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo.

O teor de potássio na folha aumentou com o incremento da AP na água de irrigação, onde a média do acúmulo de K foi de 8,99 e 11,90 g.kg⁻¹ para A0 e A3, respectivamente. Quando as plantas foram irrigadas com A1, o teor de K aumentou da menor para maior lâmina de irrigação, exceto na L100, onde se observou redução nesse teor, porém ainda maior do que quando comparado ao tratamento testemunha (Figura 37A). A A2 associada a L40 foi o tratamento que mais favoreceu ao acúmulo de K nas folhas, com média de 14,76 g.kg⁻¹.

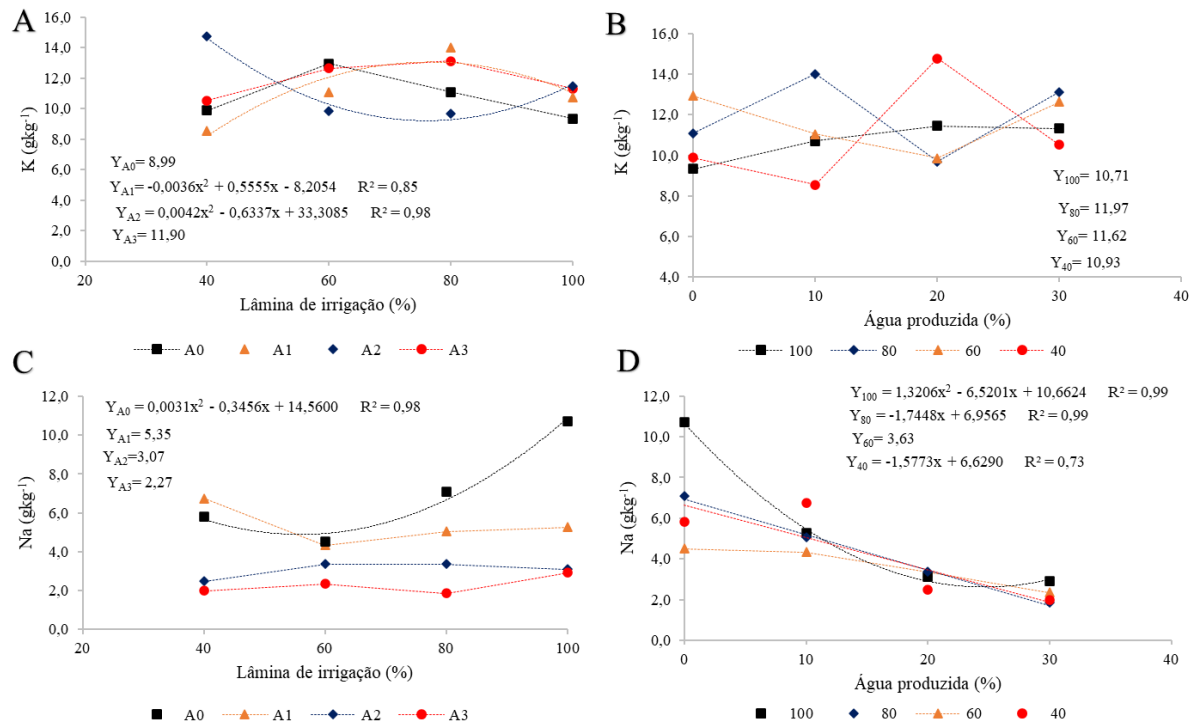


Figura 37: A- Teor de K na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de K na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. C- Teor de Na na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. D- Teor de Na na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.

Observando as LAM isoladamente em relação às águas de irrigação (Figura 37B), não se verifica um padrão definido para acumulação do K, porém as médias para cada lâmina foram bem semelhantes, não se verificando diferenças estatísticas entre elas. O teor médio de K foi de 10,71, 11,97, 11,62 e 10,93 g.kg⁻¹ para L100, L80, L60 e L40, respectivamente.

Por sua vez, o teor de Na seguiu padrão contrário ao do K, de forma que a AP influenciou na redução da acumulação de Na. Observando as águas de irrigação em relação às LAM, pode-se verificar que a A0 foi a responsável pela maior acumulação de Na, sendo esse aumento intensificado com associação às maiores lâminas de irrigação (Figura 37C).

O tratamento A0L100 foi o responsável pelo maior acúmulo de Na, com média de 10,73 g.kg⁻¹, sendo o único tratamento que o teor de Na na folha foi maior que o teor de K. O teor médio de Na nas folhas foi de 5,35, 3,07 e 2,27 g.kg⁻¹ para os tratamentos que receberam A1, A2 e A3, respectivamente.

Ao observar as LAM isoladamente em relação às águas, observa-se que para todas as lâminas de irrigação o acúmulo de Na reduz com aumento da concentração de AP nos tratamentos. A L100 é a lâmina que teve a maior diferença na acumulação do elemento, saindo de 10,73 g.kg⁻¹ para 2,92 g.kg⁻¹ para os tratamentos A0L100 e A3L100, respectivamente.

O teor de Ca na folha da cultura quando irrigado com A1 e A2 não sofreu influências significativas das lâminas de irrigação, com médias de 12,84 e 13,98 g.kg⁻¹. Quando irrigado com A0, pode-se observar redução na acumulação de cálcio da L40 para L100, possivelmente devido à ocorrência de lixiviação desse elemento. Ao receber A3, o teor de cálcio na folha da moringa foi maior para L40 e L100, e menores quando irrigadas com L60 e L80 (Figura 38A).

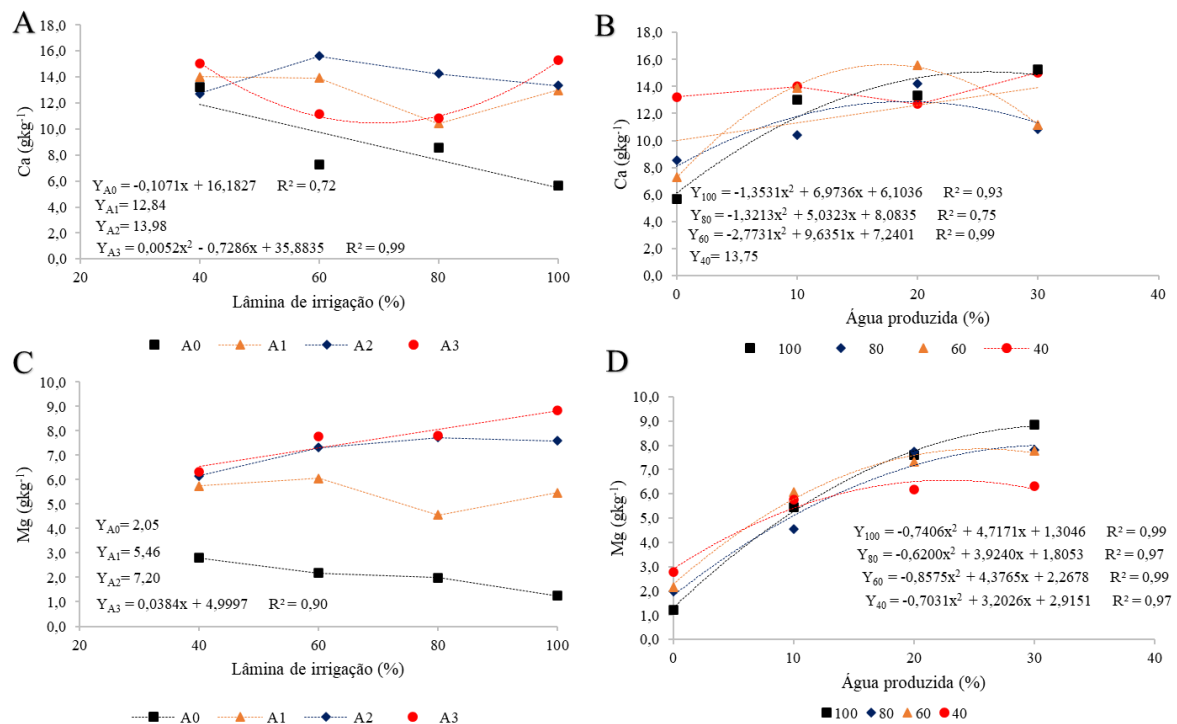


Figura 38: A- Teor de Ca na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de Ca na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. C- Teor de Mg na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. D- Teor de Mg na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.

Para o teor de Mg, não houve influência significativa das lâminas de irrigação quando irrigadas com A0, A1 e A2. Porém, com a A3, a redução da LAM promoveu redução no acúmulo do nutriente, uma vez que a associação da maior lâmina com a A3 permite a maior disponibilização de Mg para absorção pela planta (Figura 38C).

Ao observar as águas de irrigações em relação às LAM, nota-se que os teores de Ca e Mg na folha aumentaram com o incremento de AP na irrigação, exceto no caso do Ca quando irrigado com L40 (Figura 38B e 38D). O aumento na concentração desses elementos, assim como o de K e Boro, está relacionado às suas maiores concentrações em A3.

A acumulação do boro na folha não sofreu influência das LAM, exceto quando irrigado com A2. O tratamento L40A2 promoveu menor acumulação do nutriente, ocorrendo

aumento com o aumento das lâminas (Figura 39A). Quando irrigado com A0 e A3, o teor de B foi de 66,41 e 98,69 mg.kg⁻¹, demonstrando a influência da AP sintética na acumulação desse elemento no tecido foliar.

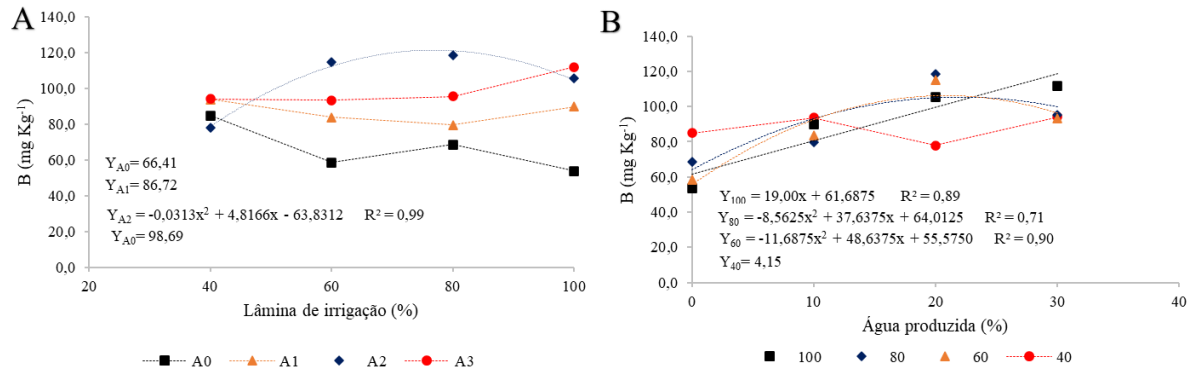


Figura 39: A- Teor de B na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de B na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.

Exceto para L40, independentemente da LAM utilizada, a AP aumentou a acumulação do Boro (Figura 39B). Quando irrigado com a L40, o teor médio de boro acumulado pela folha foi de aproximadamente 50 mg.kg⁻¹. A utilização de AP na irrigação da cultura influenciou para um aumento quantitativo maior quando associado a L100, lâmina de irrigação na qual o teor de boro na folha aumentou de 53,75 para 111,88 mg.kg⁻¹ em A0 e A3, respectivamente.

A AP na irrigação influenciou o acúmulo de Mn na folha, devido à maior concentração desse elemento na água (Figura 40A). A LAM também influenciou o acúmulo de Mn, aumentando sua concentração com a redução das lâminas (Figura 40B). Mn é um elemento que pode ser facilmente lixiviado no solo, o que pode ter ocorrido com a aplicação de maior quantidade de água. Além disso, a absorção de outros elementos para as maiores LAM pode ocasionar sua acumulação reduzida.

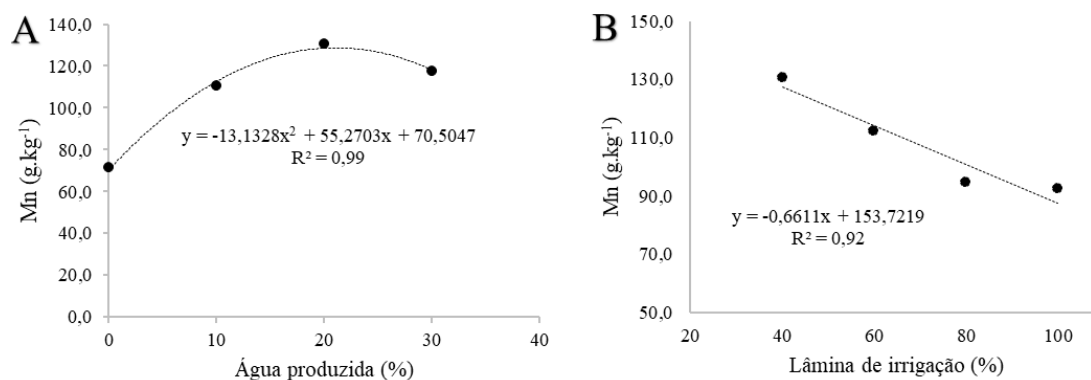


Figura 40: A- Teor de Mn na folha x Água de irrigação utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam. B- Teor de Mn na folha x Lâminas de irrigação utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.

4.7 Composição da folha da *Moringa oleífera* LAM (2^a coleta)

4.7.1 Macroelementos e sódio

A utilização de AP na irrigação da moringa ocasionou efeito significativo na acumulação de K, Mg, Ca e S, e as lâminas de irrigação (LAM) ocasionaram efeito significativo para acumulação de N nas folhas da moringa. Houve efeito significativo para os fatores LAM x AP na acumulação do Na nas folhas da cultura. Não se verificou efeito significativo dos fatores AP e LAM na acumulação do P (Tabela 18).

Tabela 18: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de nitrogênio (N), fósforo (P), Potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S) e sódio (Na) na folha da moringa.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F						
		N	P	K	Mg	Ca	S	Na
Bloco	3	0,1156	0,0313	0,0003	0,9540	0,8840	0,0168	0,0007
AP	3	0,0515	0,6732	0,0000	0,0000	0,0000	0,0002	0,0000
L	1	0,5951	0,9593	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Q	1	0,0205	0,9969	0,1377	0,0833	0,0070	0,9222	0,7311
LAM	3	0,0028	0,3041	0,9229	0,3127	0,8665	0,8882	0,0922
L	1	0,0004	0,1098	0,7995	0,0885	0,5640	0,6873	0,1142
Q	1	0,1898	0,7584	0,7090	0,6397	0,9642	0,5357	0,1428
AP x LAM	9	0,2780	0,6704	0,3510	0,3273	0,1102	0,9484	0,0233
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		10,60	23,66	14,10	40,57	24,92	32,67	34,80
Média		26,97	2,53	12,57	6,58	11,78	4,94	16,09

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo.

O teor de N na folha da moringa aumentou com a redução das lâminas de irrigação aplicadas (Figura 41). Esse incremento pode ter ocorrido porque as plantas irrigadas com lâminas deficitárias apresentaram menor quantidade de folhas e, conseqüentemente, menor MS de folhas, permitindo maior concentração desse nutriente. Efeito semelhante ocorreu em trabalho realizado por Arf et al. (2004), onde a cultura do feijão apresentou maior concentração de N em tratamentos que promoveram menor quantidade de MS.

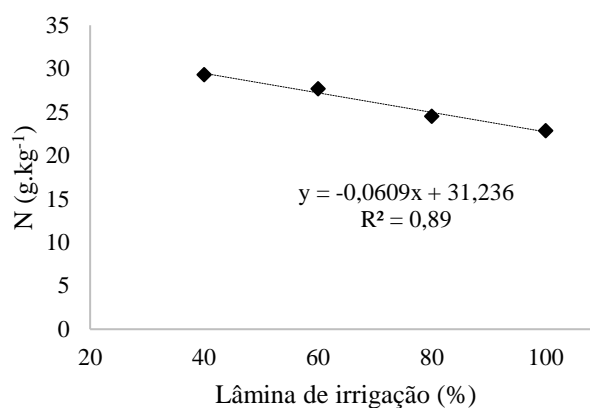


Figura 41: Teor de N na folha x Lâminas de irrigação utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.

Os valores de N na folha de moringa foram de 22,87; 24,52; 27,59 e 29,31 g.kg⁻¹ para plantas irrigadas com 100, 80, 60 e 40 % da ETc da cultura, respectivamente, valores próximos à média dos encontrados por Vieira et al. (2008), que foi de 31,31 g de g.kg⁻¹ de folha.

O teor de P não foi influenciado pelos tratamentos, sendo que o teor médio do nutriente na folha de moringa foi de 2,53 g.kg⁻¹, valor próximo ao encontrado por outros autores. Moyo et al. (2011) verificaram que o P representa 0,3% da folha da moringa, o que representa 3,00 g.kg⁻¹.

A concentração de K, Mg, Ca e S na folha da moringa aumentou com a adição de AP na irrigação da planta (Figura 42), sendo esse aumento associado às concentrações desses elementos na AP. As plantas que receberam apenas água de abastecimento apresentaram 10,27 g.kg⁻¹ de K na folha, sendo a maior quantidade de K encontrada nas plantas que receberam a A3, 14,19 g.kg⁻¹. Moyo et al. (2011) encontraram em folhas de moringa 15,00 g de g.kg⁻¹.

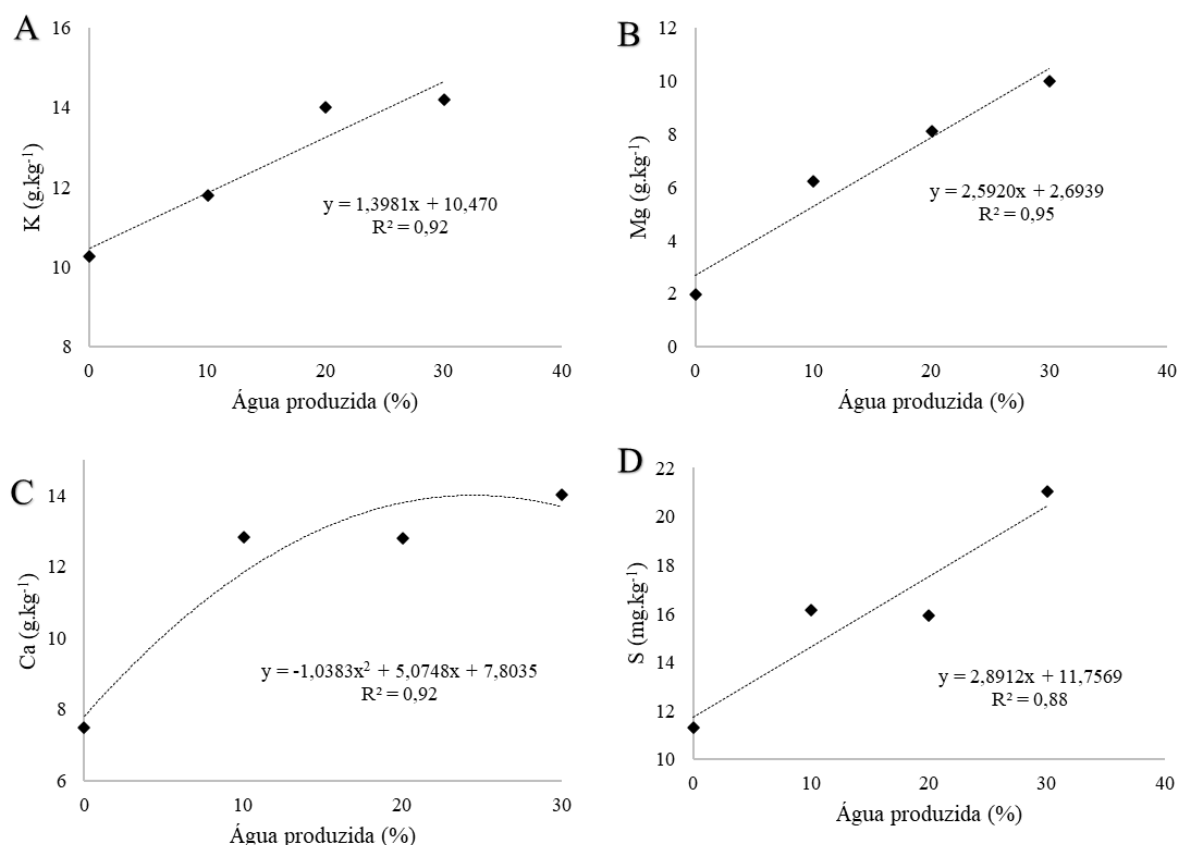


Figura 42: A- Teor de K na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, B- Teor de Mg na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, C- Teor de Ca na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam e D- Teor de S na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.

Stadtlander e Becker (2017) afirmam que a concentração dos nutrientes na moringa pode ser diferente de acordo com o local de cultivo, devido, principalmente, às características químicas e físicas do solo e da água de irrigação. De acordo com o trabalho realizado por esses autores, o teor de K na folha da moringa variou de 13,5 g.kg⁻¹ (no Malawi) a 29,6 g.kg⁻¹ (na Índia).

De forma geral, o aumento da salinidade da água de irrigação tende a ocasionar redução na absorção de K pelas plantas, principalmente quando as águas mais salinas apresentam elevados teores de Na (SILVA et al., 2017). No presente trabalho, obteve-se o resultado oposto: o aumento da concentração de K reduziu a concentração de Na, reduzindo, desta forma, a relação Na/K nas plantas irrigadas com água de maior salinidade.

As concentrações de Mg na folha de moringa foram de 1,98, 6,25, 8,1 e 10 g.kg⁻¹ para as plantas irrigadas com A0, A1, A2, A3, respectivamente. Moyo et al. (2011) afirmaram que a folha da moringa tem em sua composição 0,5 % de Mg, o que representa 5 g.kg⁻¹. Stadtlander e Becker (2017) encontraram concentração média de Mg em folha de moringa de

4,82 g.kg⁻¹. Desta forma, as plantas irrigadas com A1 apresentaram concentrações desse elemento mais próxima aos trabalhos citados, e A3 ocasionou aumento de 505% da concentração do elemento em relação ao tratamento testemunha.

Ca na folha de moringa foi de 7,48, 12,83, 12,81 e 14,01 g.kg⁻¹ para as plantas irrigadas com A0, A1, A2, A3, respectivamente. Moyo et al. (2011) encontraram teor de Ca em folhas de moringa igual a 36,5 g.kg⁻¹, sendo esse valor mais que o dobro dos teores encontrados no presente trabalho. Stadlander e Becker (2017) encontraram teores de Ca mais próximos ao presente trabalho, sendo o valor mínimo encontrado pelos autores de 11 g.kg⁻¹ e máximo de 23,7 g.kg⁻¹ na Índia e Tailândia, respectivamente.

O teor de S na folha de moringa aumentou 86% quando comparado às plantas irrigadas com A3 (21,02 g.kg⁻¹ de S) e à testemunha (11,30 g.kg⁻¹ de S). Moyo et al. (2011) encontraram teor de S em folhas de moringa igual a 6,3 g.kg⁻¹, valor inferior ao encontrado pelo presente trabalho. Essa diferença pode ocorrer devido às condições químicas e físicas da água de irrigação ou do solo onde os trabalhos foram realizados.

Para as águas de irrigação isoladas em função das lâminas de irrigação, observa-se que para A1, A2 e A3 as LAM não influenciaram no acúmulo de sódio para as culturas (Figura 43A), havendo, porém, efeito significativo para lâminas quando a cultura foi irrigada com A0, de forma que o maior teor de Na encontrado foi obtido na L100, o que ocorreu porque os solos de T1 acumularam Na em maiores quantidades, devido à não ocorrência de livre lixiviação.

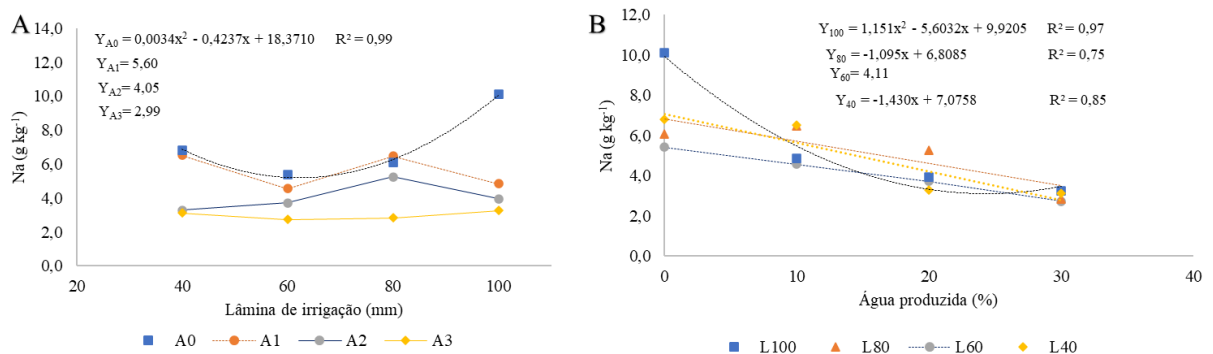


Figura 43: A- Teor de Na na folha da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de Na na folha da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.

Na Figura 43B, observa-se que para as L100, L80 e L40, o teor de Na acumulado da folha da moringa reduziu com a utilização de AP na irrigação. Quando utilizada a L60, a água de irrigação não influenciou significativamente na acumulação do elemento. O teor médio de Na encontrado no experimento foi de 4,94 g.kg⁻¹.

A interação estatística dos fatores para Na ocorreu principalmente graças ao alto teor do elemento encontrado na folha das plantas do T1, em virtude do elevado acúmulo do elemento no solo submetido à lixiviação controlada.

4.7.2 Microelementos

A utilização de AP na irrigação da moringa ocasionou efeito significativo na acumulação de B, Cd, Co, Cu, Mn, Pb e Zn, e as lâminas de irrigação não ocasionaram efeito significativo para acumulação dos micronutrientes nas folhas da moringa. Também não houve efeito significativo para interação dos fatores LAM x AP (Tabela 19).

Tabela 19: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de Boro (B), Cádmio (Cd), Cobalto (Co), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na folha da moringa.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F							
		B	Cd	Co	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Bloco	3	0,0098	0,0000	0,0000	0,0198	0,0330	0,8649	0,0000	0,2641
AP	3	0,0059	0,0118	0,0000	0,0062	0,1825	0,0011	0,0182	0,0025
L	1	0,0006	0,0027	0,0000	0,0484	0,2912	0,0003	0,0023	0,0002
Q	1	0,7912	0,1533	0,0384	0,0358	0,1195	0,2112	0,4601	0,5008
LAM	3	0,5865	0,7016	0,1373	0,3455	0,4084	0,3386	0,7953	0,1452
L	1	0,2558	0,6763	0,0812	0,3638	0,4217	0,1388	0,7172	0,0359
Q	1	0,9504	0,6713	0,9146	0,2138	0,3290	0,8654	0,9076	0,9434
AP x LAM	9	0,7769	0,6984	0,5493	0,3739	0,1002	0,5922	0,7871	0,9763
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		37,60	31,74	83,73	28,32	26,34	35,26	15,70	18,78
Média		32,11	0,77	0,27	3,91	170,02	50,59	11,40	21,93

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo.

Com a utilização de AP na irrigação, a acumulação de B, Mn, Zn e Cu aumentou (Figura 44). O aumento no teor de B e Mn está diretamente relacionado à maior concentração desses elementos na água produzida. No caso do Zn e do Cu, elementos em quantidades semelhantes em todas as águas de irrigação, seus aumentos devem ser influenciados pelo maior acúmulo de outros nutrientes para esses tratamentos.

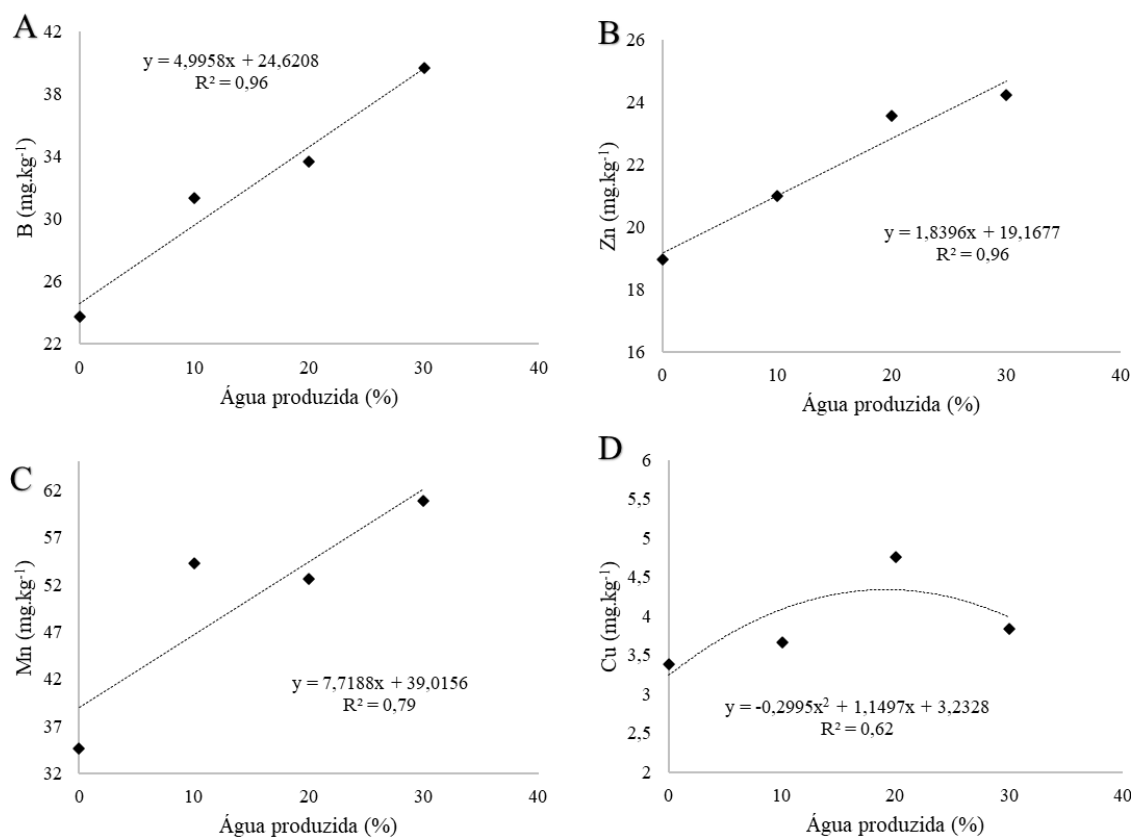


Figura 44: A- Teor de B na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, B- Teor de Zn na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, C- Teor de Mn na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam e D- Teor de Cu na folha x Quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.

O Boro, quando as plantas foram irrigadas com A0, teve acumulação de 23,78 mg.kg⁻¹, sendo a concentração do mesmo elemento nos tratamentos que receberam A3 de 39,66 mg.kg⁻¹, assim a utilização de 30 % de AP promoveu aumento de aproximadamente 67%. O aumento do teor de Mn nas folhas da moringa também foi significativo, passando de 34,63 para 60,91 mg.kg⁻¹ para A0 e A3, respectivamente. Para o Mn, a A3 promoveu aumento do seu teor na folha de moringa em aproximadamente 76 %, em relação a A0.

A respeito do Zn, seu teor foi de 18,94 mg.kg⁻¹ para A0 e de 24,22 mg.kg⁻¹ para A3, um aumento 27 % no teor desse elemento. A concentração de Cu na folha, apesar de aumentar com a utilização de AP sintética na irrigação, se ajustou à equação do modelo quadrático, de forma que o maior teor de Cu nas folhas foi promovido por A2 (4,16 mg.kg⁻¹) e a A0 foi a água que proporcionou menor teor de Cu nas folhas da cultura (3,38 mg.kg⁻¹).

Co, Pb e Cd reduziram suas concentrações na folha da cultura com a utilização de AP na irrigação (Figura 45). A redução desses elementos ocorreu, possivelmente, por competirem

pelos mesmos sítios de acumulação que outros elementos contidos em maiores concentrações na AP.

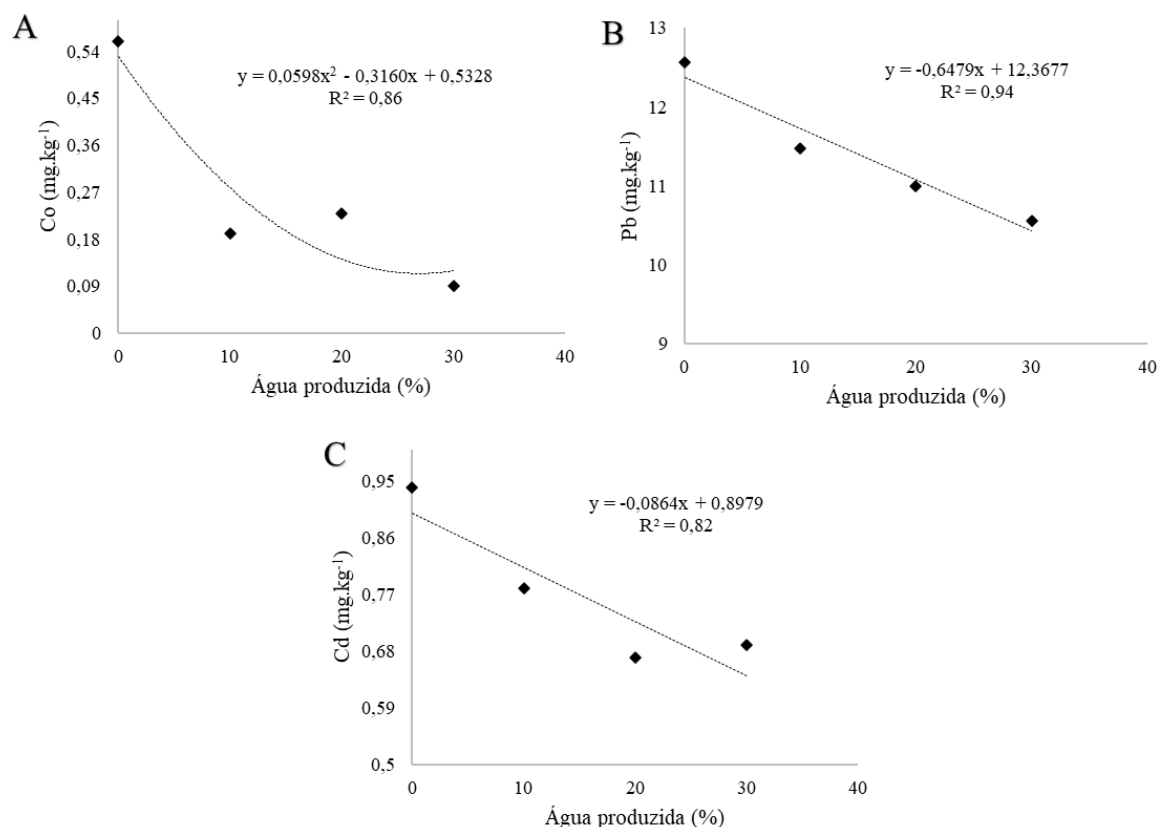


Figura 45: A- Teor de Co na folha x quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam, B- Teor de Pb na folha x quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam e C- Teor de Cd na folha x quantidade de água produzida utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.

O acúmulo de Co nas folhas reduziu muito com a utilização de AP, em torno de 522 %. O Cd reduziu de 0,94 para 0,69 mg.kg⁻¹, de A0 para A3, respectivamente. E o Pb obteve uma queda de 12,56 para 10,56 mg.kg⁻¹, sendo o elemento com menor alteração do teor em termos proporcionais.

4.8 Composição da semente da *Moringa oleífera* LAM

A utilização de AP na irrigação da moringa ocasionou efeito significativo na acumulação de P, Na, S, B e Pb, e as lâminas de irrigação (LAM) ocasionaram efeito significativo para acumulação de N e Mn nas sementes da moringa. Houve efeito significativo de interação entre os fatores LAM x AP na acumulação de K e Ca na semente da cultura. Não se verificou efeito significativo dos fatores AP e LAM na acumulação dos demais elementos (Tabela 20).

Tabela 20: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de nitrogênio (N), fósforo (P), Potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S), sódio (Na), Boro (B), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na semente da moringa.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F						
		N	P	K	Mg	Ca	Na	S
Bloco	3	0,3074	0,0184	0,9017	0,3406	0,0223	0,0436	0,0209
AP	3	0,3242	0,0105	0,3362	0,1321	0,0027	0,0000	0,0194
L	1	0,0866	0,0011	0,4343	0,2181	0,0347	0,0000	0,2603
Q	1	0,7660	0,8571	0,1026	0,1702	0,0014	0,4313	0,0033
LAM	3	0,0405	0,4083	0,5560	0,5344	0,2905	0,3731	0,8761
L	1	0,0069	0,0975	0,8954	0,1632	0,9162	0,0885	0,8406
Q	1	0,3452	0,8299	0,5053	0,6926	0,1365	0,8226	0,5361
AP x LAM	9	0,5358	0,1246	0,0002	0,2347	0,0284	0,0567	0,9560
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		4,76	6,31	11,13	6,18	19,67	17,99	21,81
Média		44,82	5,59	4,09	2,49	2,26	0,32	2,76

FV	GL	Significância estatística pelo teste F					
		B	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Bloco	3	0,3583	0,5134	0,0345	0,3175	0,0000	0,8082
AP	3	0,0136	0,0467	0,8571	0,1470	0,0222	0,1115
L	1	0,5390	0,0093	0,6917	0,7325	0,0066	0,1981
Q	1	0,0034	1,0000	0,5009	0,0265	0,2196	0,1151
LAM	3	0,3981	0,9119	0,7130	0,0115	0,7001	0,2759
L	1	0,1211	0,9426	0,3665	0,0259	0,4047	0,1581
Q	1	0,9610	0,6901	0,5279	0,0517	0,4912	0,2629
AP x LAM	9	0,5413	0,4701	0,4516	0,9218	0,9083	0,8264
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-
CV (%)		21,16	44,73	10,27	13,76	52,68	10,69
Média		1,44	2,88	54,19	23,26	1,99	46,17

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo.

O teor de N na semente da moringa diminuiu linearmente com a redução da LAM (Figura 46), mostrando que o estresse hídrico promove redução do teor de proteína da semente da moringa, fator de grande importância para possível produção de torta de semente de MO com fins de alimentação animal. Com a aplicação de lâminas deficitárias, o teor de N reduziu de 46,09 para 44,09 g.kg⁻¹ (Figura 46).

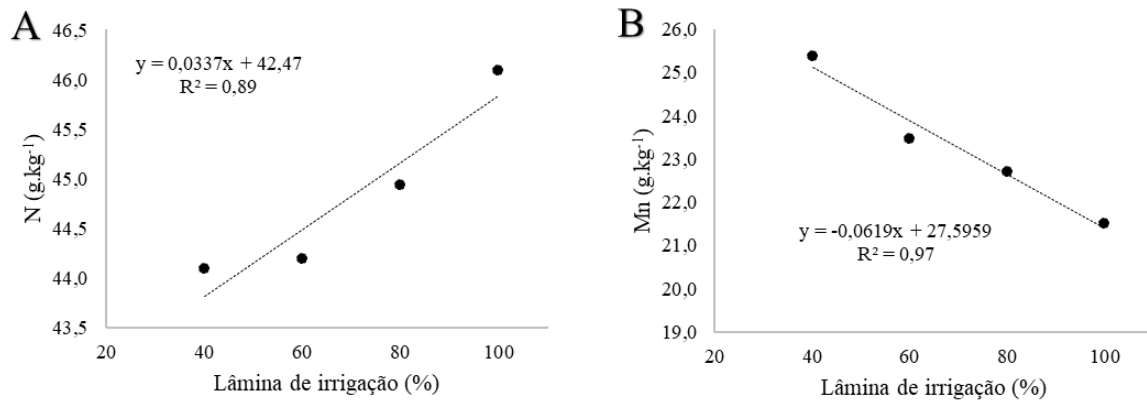


Figura 46: A-Teor de N na semente x lâminas de irrigação utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam. B- Teor de Mn na semente x lâminas de irrigação utilizada na irrigação da Moringa oleífera Lam.

Pode-se observar que a semente é a parte da planta responsável por apresentar a maior composição de N, ou seja, é a que representa o maior potencial proteico. Gallão et al. (2006) destacam que a semente da moringa é composta principalmente por proteínas e lipídeos, onde os teores de proteínas são de aproximadamente 40%.

Apesar da diminuição do teor de N em razão da aplicação de lâminas deficitárias, essa redução pode ser considerada mínima em relação à economia gerada ao sistema de produção, com menor consumo de água e custos variáveis necessários para irrigar. Além disso, o mesmo tratamento que ocasionou menor concentração do nutriente na semente ocasionou maior acumulação do mesmo na folha. A resposta do Mn foi inversa a do N, aumentando sua acumulação nas sementes com as lâminas deficitárias (Figura 46B).

Os teores de fósforo, sódio e boro foram reduzidos na semente da moringa oleífera com o incremento da % de AP da irrigação (Figura 47). Essas reduções podem estar diretamente associadas ao incremento de teores de outros nutrientes nas sementes, o que gera competição pelos sítios de ação, fazendo reduzir a concentração dos elementos citados.

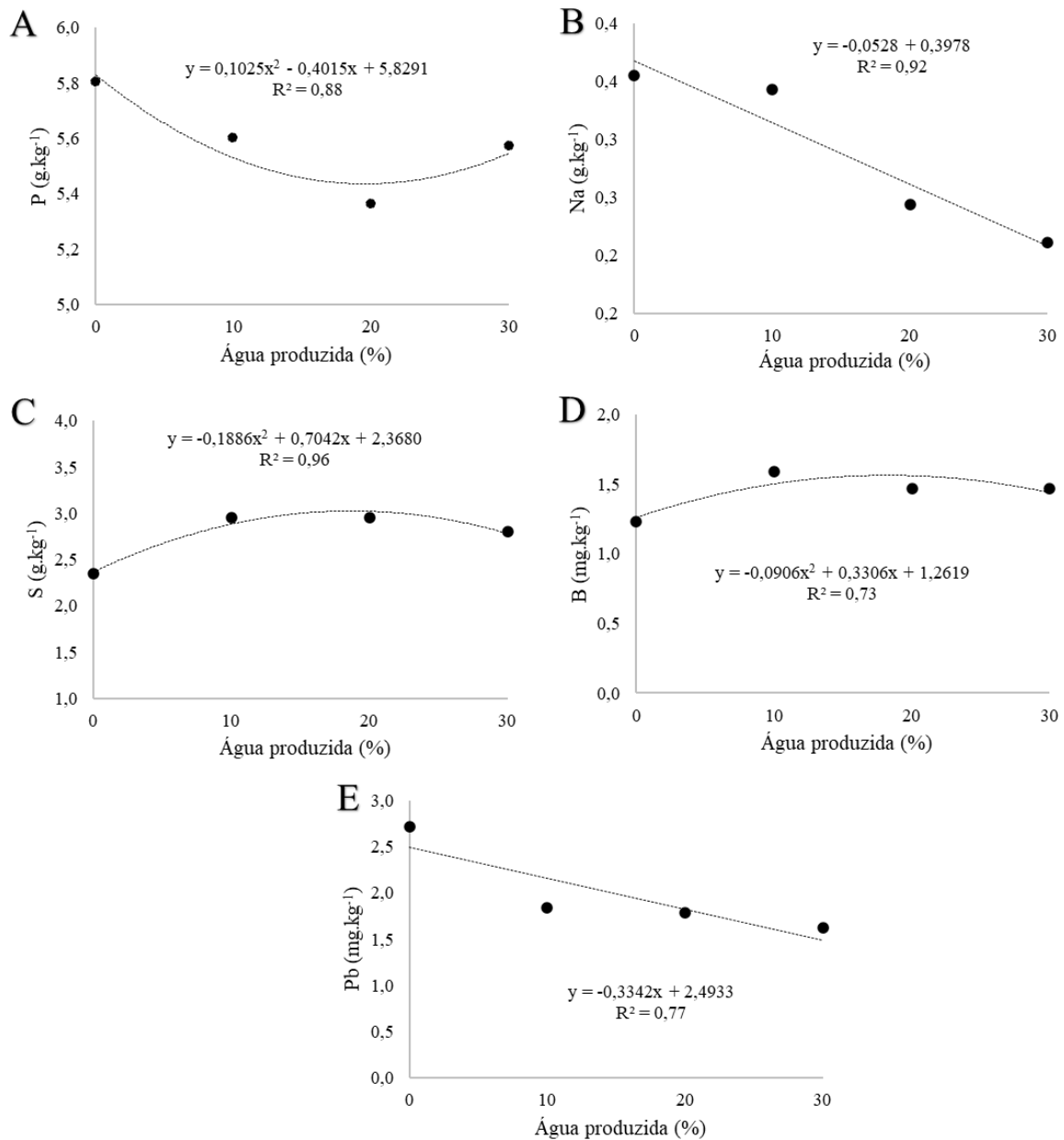


Figura 47: A- Teor de P na semente da Moringa oleífera Lam x água de irrigação B- Teor de Na na semente da Moringa oleífera Lam x água de irrigação, C- Teor de S na semente da Moringa oleífera Lam x água de irrigação, D- Teor de B na semente da Moringa oleífera Lam x água de irrigação e E- Teor de Pb na semente da Moringa oleífera Lam x água de irrigação.

As quantidades de enxofre e boro na semente responderam de forma significativa à irrigação com AP, sendo suas concentrações próximas para os tratamentos A1, A2 e A3, porém sempre superiores a A0 (Figura 47C). As concentrações de S e de B aumentaram em aproximadamente 26 e 30%, respectivamente.

O Magnésio foi encontrado com acumulação média de $2,49 \text{ g.kg}^{-1}$ na semente, valor dentro do padrão observado para a cultura. Apesar de ser um elemento contido em quantidade elevada na AP, não apresentou aumento de concentração nas sementes das plantas irrigadas

com a referida água, de forma que a maior acumulação desse nutriente se deu em outras partes vegetativas da cultura.

O K apresentou respostas significativas à interação dos fatores (AP x LAM) avaliados (Figura 48A e 48B). Quando irrigado com A1, A2 e A3, a concentração de K na semente foi de 4,22, 4,10 e 4,13 g.kg⁻¹, respectivamente. Já nas plantas irrigadas com A0, pode-se observar a redução da concentração de potássio com o aumento das lâminas de irrigação. O menor teor de K foi de 3,22 g.kg⁻¹ no tratamento A0L100.

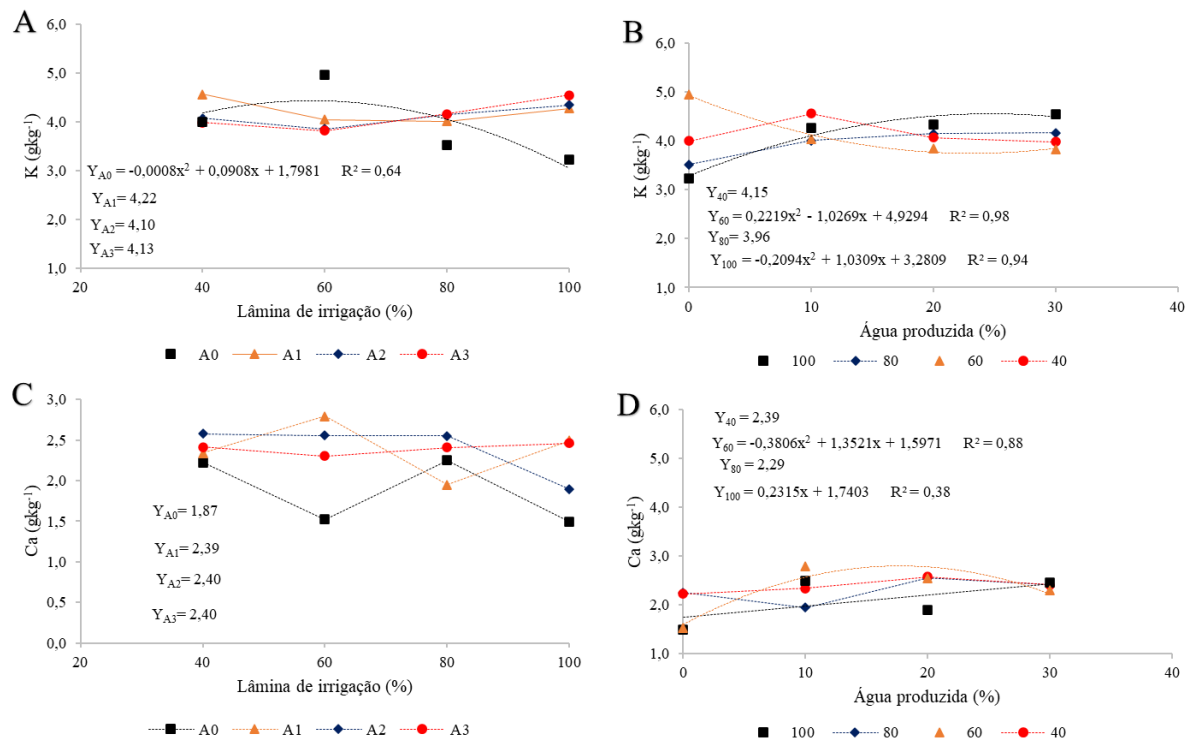


Figura 48: A- Teor de K na semente da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de K na semente da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. C- Teor de Ca na semente da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. D- Teor de Ca na semente da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.

O potássio é um nutriente que pode ser lixiviado facilmente no solo, e a A0 apresentou a menor quantidade de K em sua composição. A menor adição de K por meio da água de irrigação e a provável lixiviação desse elemento ocasionado pela L100 podem ser os fatores responsáveis por essa menor acumulação de K na semente para o referido tratamento.

Observando as LAM isoladamente em relação às águas de irrigação (Figura 48B), pode-se verificar o aumento da concentração de K na L100 quando aumenta a concentração de AP e que para a L60 ocorre redução da concentração de K com a presença de AP. A L40

não apresentou resposta na acumulação de K na semente de moringa, independentemente da água de irrigação utilizada, com média de 4,15 g.kg⁻¹.

Analisando as águas de irrigação em relação à quantidade de água aplicada para interação LAM x AP na acumulação do Ca (Figura 48C), verifica-se que a A0 favoreceu a menor acumulação do nutriente para irrigação com L40, L60 e L100. Quando aplicada a L80, a menor acumulação foi ocasionada pela A1. A média dos teores de Ca para A0, A1, A2 e A3 foi de 1,87, 2,39, 2,40 e 2,40 g.kg⁻¹, respectivamente, demonstrando a influência de A0 na baixa acumulação de cálcio.

Tratando-se das LAM em relação às águas de irrigação, a L40 e L80 não influenciaram o acúmulo de Ca, com médias de 2,39 e 2,29 g.kg⁻¹, respectivamente. A L60 e a L100, com o aumento da % de AP na Água de irrigação, aumentaram a acumulação do Ca na semente, de forma que o maior valor de concentração do nutriente foi o tratamento A1L60.

A concentração de elementos nos tecidos vegetais de uma planta pode ser afetada por diversos fatores. Os tratamentos aplicados ao experimento influenciam diretamente essa acumulação, entretanto é fato que o simples aumento na absorção de um respectivo nutriente pode ocasionar aumento ou diminuição na absorção de outros.

Corrêa et al. (2002) estudaram o acúmulo de nutrientes em mudas de aceroleira adubadas com fósforo e zinco, observando que o incremento da quantidade de P no sistema produtivo foi suficiente para aumentar o acúmulo de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn e Mn na MS da cultura.

Vieira (2017) avaliou composição de elementos na semente da *Moringa oleífera* LAM em duas plantas distintas, sendo uma cultivada no campus central (UFRN) e a outra no campus Macaíba (UEJ), tendo os teores de alguns elementos se mostrado distintos (Tabela 21).

Tabela 21: Composição da semente da moringa cultivada em diferentes solos.

	Unidade	CM	CC
Cálcio	g.kg ⁻¹	1,93	1,77
Magnésio	g.kg ⁻¹	1,65	2,1
Potássio	g.kg ⁻¹	5,03	3,51
Sódio	mg.kg ⁻¹	29,56	75,99
Manganês	mg.kg ⁻¹	15,77	19,36
Ferro	mg.kg ⁻¹	21	25,32
Zinco	mg.kg ⁻¹	59,85	61,7
Cobre	mg.kg ⁻¹	5,57	5,28

CM: Campus macaíba, CC: Campus Central. Fonte: Adaptado de Vieira (2017).

Tabela 22: Composição da semente da moringa cultivada com A0 e A3.

	Unidade	A0	A3
Cálcio	g.kg ⁻¹	1,87	2,4
Magnésio	g.kg ⁻¹	2,45	2,74
Potássio	g.kg ⁻¹	3,92	4,13
Sódio	mg.kg ⁻¹	384,69	240,97
Manganês	mg.kg ⁻¹	21,64	23,59
Ferro	mg.kg ⁻¹	53,23	84
Zinco	mg.kg ⁻¹	44,23	48,22
Cobre	mg.kg ⁻¹	3,57	2,25

A0: 0% de água produzida + 100% de água de abastecimento, A1: 30% de água produzida + 70% de água de abastecimento.

Pode-se observar que as condições a que a moringa foi submetida interferem no teor dos elementos na composição da planta. Observa-se na tabela 22, que o teor de Ca e Mg obtidos no presente trabalho para A3 foi maior que o encontrado por Vieira (2017). O teor de K nas sementes de plantas irrigadas com A0 e A3 foi superior ao encontrado pelo autor em sementes de moringa cultivadas na UEJ e inferiores à da UFRN. Em termos proporcionais, o teor de Na foi o que mais diferiu entre os encontrados no presente trabalho em relação aos encontrados por Vieira (2017).

A concentração de Ferro e manganês das sementes cultivadas com A0 e A3 foi maior que os cultivados no CM e CC, ao passo que as concentrações de Zn e Cu foram maiores no trabalho de Vieira (2017). Isso mostra que as quantidades de elementos disponíveis no ambiente irão condicionar as suas absorções pela planta.

4.9 Composição do caule da *Moringa oleífera* LAM

O fator AP ocasionou efeito significativo na acumulação de Mg, Na, B, Cd, Cu, Mn e Zn, e as lâminas de irrigação (LAM) ocasionaram efeito significativo para acumulação de Mg e Mn no caule da moringa. Houve efeito significativo de interação entre os fatores LAM x AP na acumulação de P, K, Ca, S e na semente da cultura. Não se verificou efeito significativo dos fatores AP e LAM na acumulação dos demais elementos (Tabela 23).

Tabela 23: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de nitrogênio (N), fósforo (P), Potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S), sódio (Na), Boro (B), Cádmi (Cd), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) no caule da moringa.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F						
		N	P	K	Mg	Ca	Na	S
Bloco	3	0,0812	0,3565	0,0819	0,2238	0,0161	0,6629	0,7370
AP	3	0,0995	0,1206	0,0000	0,0000	0,6955	0,0000	0,0000
L	1	0,0882	0,5646	0,0000	0,0000	0,7383	0,0000	0,0000
Q	1	0,1314	0,0311	0,5846	0,0000	0,2727	0,5919	0,0058
LAM	3	0,5214	0,1443	0,3200	0,0029	0,5687	0,3810	0,0206
L	1	0,4927	0,0352	0,0916	0,0005	0,3380	0,2585	0,0032
Q	1	0,7108	0,4159	0,4331	0,4489	0,4938	0,7053	0,3459
AP x LAM	9	0,9103	0,0002	0,0037	0,0765	0,0027	0,3538	0,0302
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		17,27	19,00	9,58	11,89	13,99	14,58	15,24
Média		6,44	1,38	10,50	2,39	4,78	2,00	4,39

FV	GL	Significância estatística pelo teste F						
		B	Cd	Cu	Fe	Mn	Pb	Zn
Bloco	3	0,0001	0,0000	0,1808	0,0000	0,0017	0,0000	0,0001
AP	3	0,0118	0,0190	0,0332	0,1754	0,0021	0,0734	0,0112
L	1	0,0034	0,0031	0,0081	0,0974	0,0004	0,0104	0,0029
Q	1	0,2066	0,3227	0,2219	0,1932	0,1705	0,6036	0,1335
LAM	3	0,5189	0,8013	0,2185	0,5890	0,0154	0,9309	0,7819
L	1	0,2139	0,3759	0,2292	0,5160	0,0047	0,5533	0,8504
Q	1	0,7988	0,9921	0,0897	0,9889	0,4428	0,8625	0,4004
AP x LAM	9	0,1321	0,9591	0,4623	0,5704	0,7831	0,8463	0,6258
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		15,68	38,10	54,72	44,63	14,11	36,73	15,92
Média		1,55	0,33	0,46	7,84	8,59	2,93	9,25

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo.

Diferentemente do que aconteceu na semente e nas folhas, os tratamentos não influenciaram no teor de N no caule da Moringa. A concentração média de N encontrada foi de 6,44 g.Kg⁻¹, valor inferior ao que se encontrou na folha e na semente da moringa, já que o caule é a parte do vegetal mais lenhosa e de menor valor proteico. O Fe e o Pb foram os demais fatores que não responderam significativamente aos tratamentos, com médias de 7,84 e 2,93 mg. kg⁻¹.

As lâminas de irrigação influenciaram o acúmulo de Mg e de Mn no solo. Com a aplicação de LAM reduzidas, o teor de Mg no caule da moringa também reduziu, pois, desta forma, a adição de Mg no solo foi menor, promovendo menor quantidade de Mg na solução do solo (Figura 49A). O aumento no teor de Mg por influência da LAM, apesar de significativo, foi relativamente baixo, aumentando apenas 0,32 g.kg⁻¹ da menor para a maior LAM.

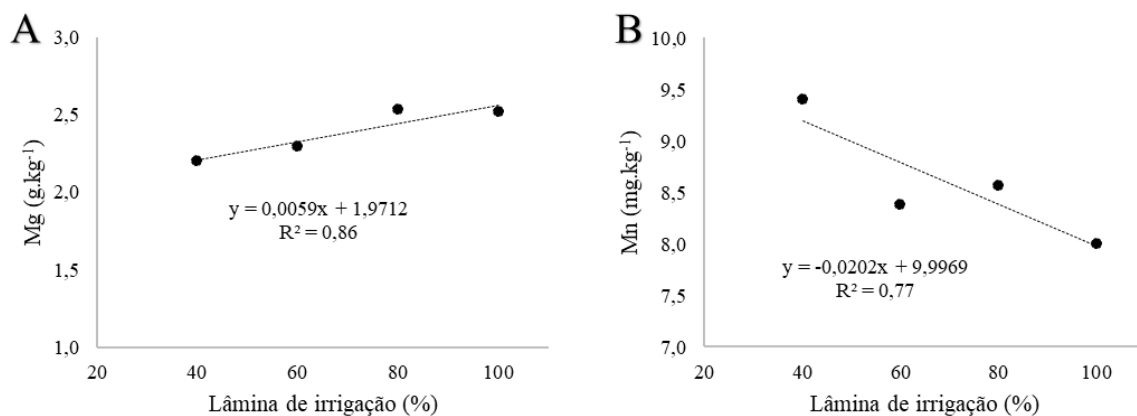


Figura 49: A- Teor de Mg no caule da Moringa oleífera Lam x lâmina de irrigação. B- Teor de Mn no caule da Moringa oleífera Lam x lâmina de irrigação.

O teor de Mn foi maior quando aplicadas as menores quantidades de água (Figura 49B). Isso pode ocorrer porque a moringa absorve mais Mn quando irrigada com LAM baixas e reduz a absorção deste elemento quando aplicados maiores volumes de água e, conseqüentemente, maiores quantidades de outros elementos.

O fator AP proporcionou maior o acúmulo do Mg, aumentando o teor desse elemento no caule em aproximadamente 91%, quando se compara a A0 com a A3 (Figura 50A). A moringa acumulou no caule 1,51 g.kg⁻¹ de Mg quando irrigado com A0 e 2,89 g.kg⁻¹ quando irrigado com A3.

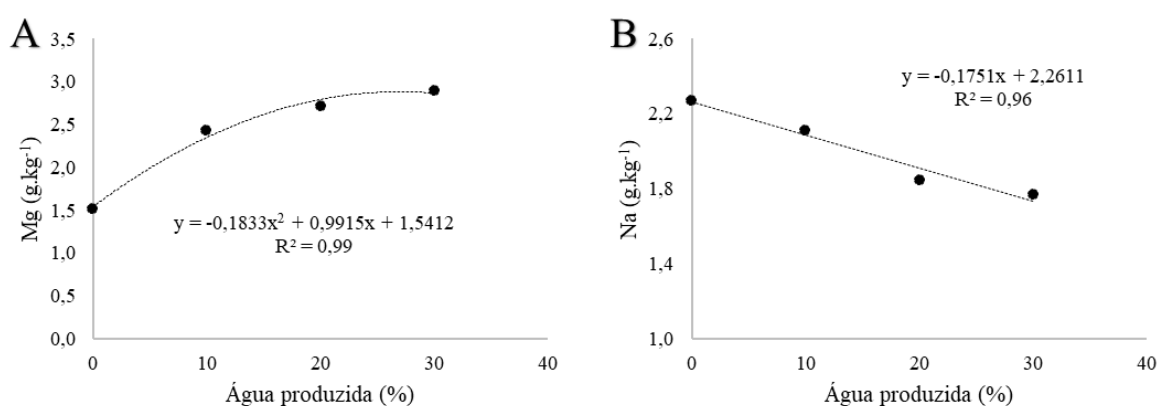


Figura 50: A- Teor de Mg no caule da Moringa oleífera Lam x água de irrigação. B- Teor de Na no caule da Moringa oleífera Lam x água de irrigação.

O teor de Na sofreu efeito contrário ao Mg, tendo sua acumulação reduzida com o incremento e AP na irrigação (Figura 50B), principalmente devido ao aumento no acúmulo de K, que será discutido posteriormente. Comparando-se o tratamento A0 ao A3, o teor de K aumentou de 8,99 para 12,14 g.kg⁻¹, ao passo que o de Na reduziu de 2,27 para 1,77 g.kg⁻¹.

Uma vez que a água produzida era sintética, as respectivas águas de irrigação continham Cu, Cd e Zn em quantidades desconhecidas, porém semelhantes. Apesar disso, houve aumento linear e significativo da acumulação do Cu e Zn com a adição de AP na irrigação da planta (Figura 51C e 51E) e decréscimo na acumulação de Cd (Figura 51B) pela utilização dessa água. Isso pode acontecer em virtude da presença em maior quantidade de outros nutrientes na água de irrigação e na solução do solo, podendo, desta forma, favorecer ou desfavorecer a absorção de alguns outros elementos pelas plantas.

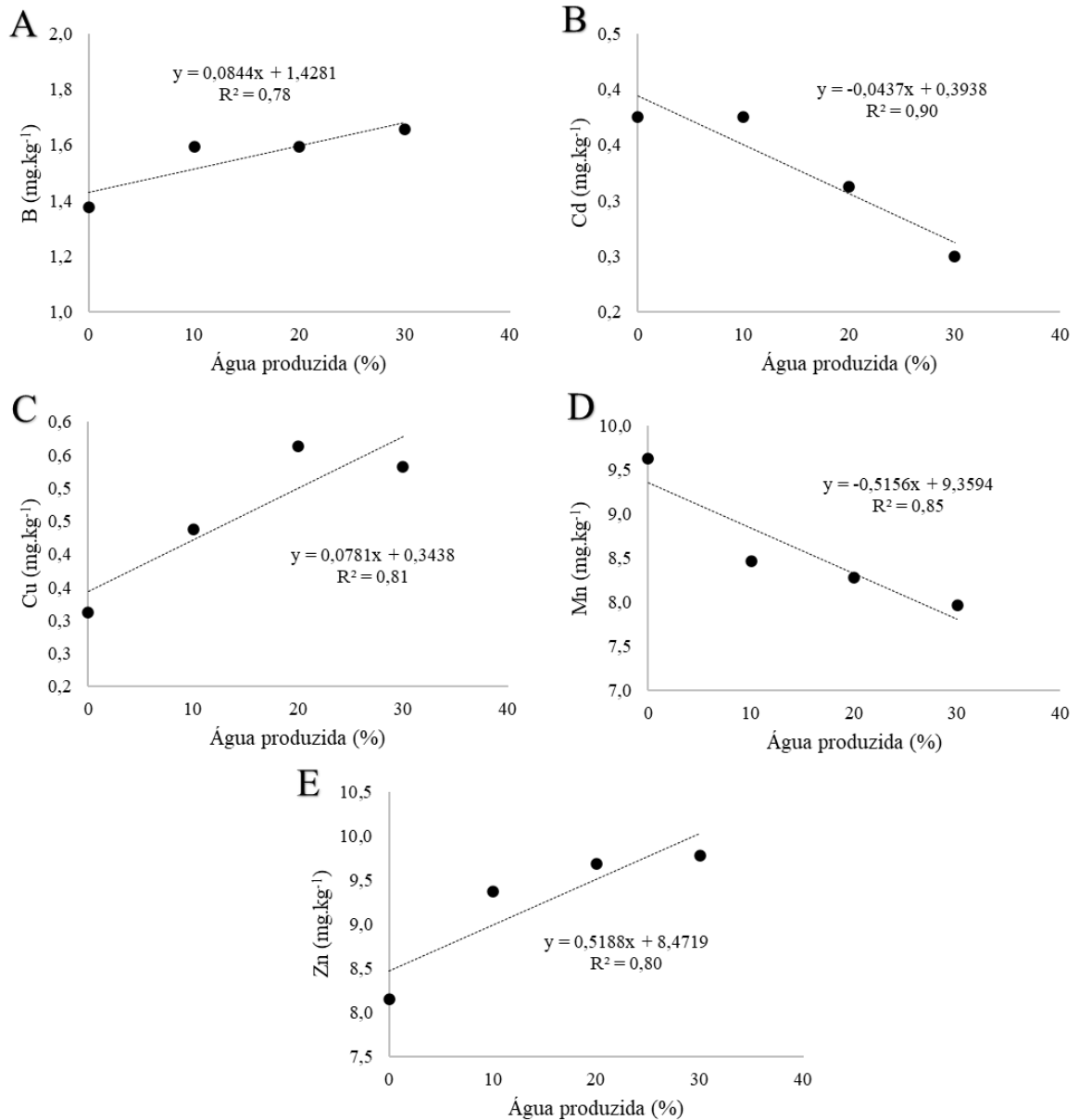


Figura 51: A- Teor de B no caule da *Moringa oleifera* Lam x água de irrigação. B- Teor de Cd no caule da *Moringa oleifera* Lam x água de irrigação. C- Teor de Cu no caule da *Moringa oleifera* Lam x água de irrigação. D- Teor de Mn no caule da *Moringa oleifera* Lam x água de irrigação. E- Teor de Zn no caule da *Moringa oleifera* Lam x água de irrigação.

O teor de boro no caule aumentou quando irrigado com as diluições de AP, aumento relacionado ao teor desse elemento na água (Figura 51A). No caso do Mn, apesar de aparecer em maiores quantidades nas águas de irrigação com AP sintética, teve sua acumulação no caule diminuída com a aplicação desses tratamentos.

A interação AP x LAM para cumulação de P mostrou que o tratamento T1 diferiu dos demais tratamentos, com acúmulo de 2,21 g.kg⁻¹ (Figura 52A e 52B). O teor médio geral da acumulação de P no caule foi de 1,38 g.kg⁻¹, mostrando a grande influência do tratamento A0L100.

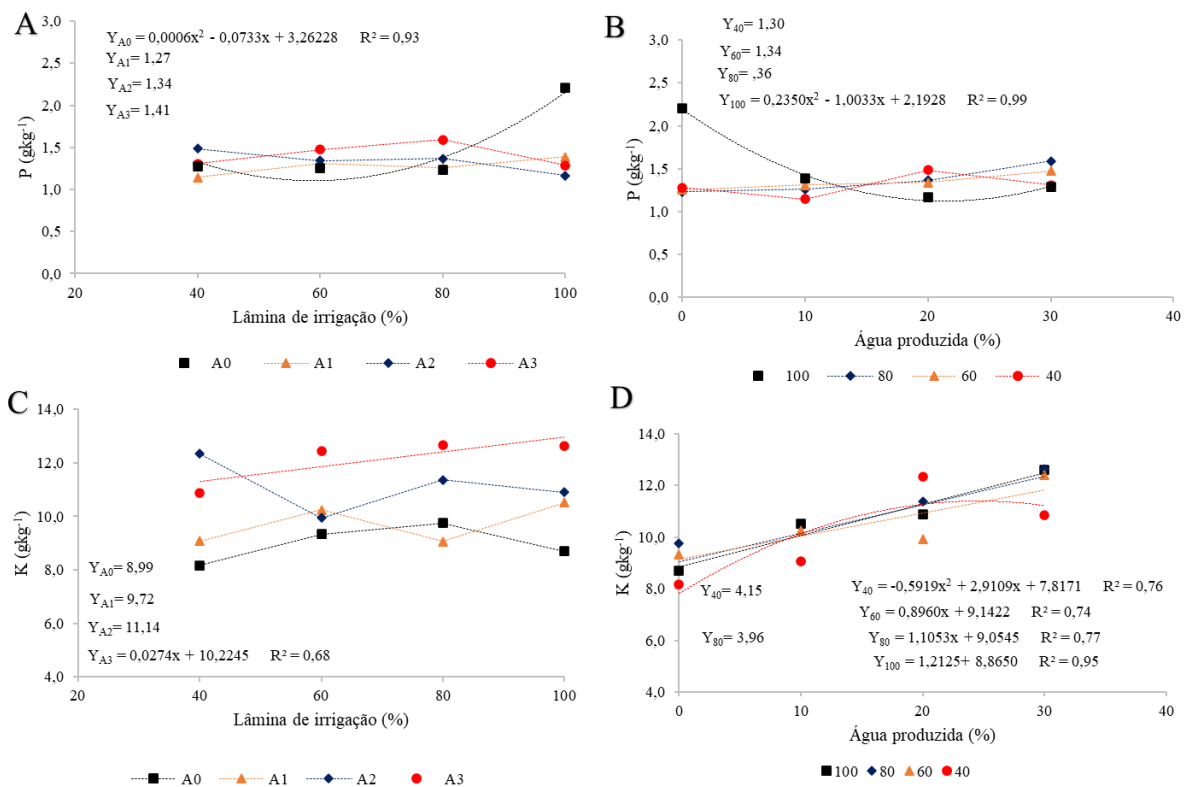


Figura 52: A- Teor de P no caule da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de P no caule da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. C- Teor de K no caule da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. D- Teor de K no caule da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.

As lâminas de irrigação não ocasionaram efeito significativo para acumulação do K, exceto quando irrigado com A3 (Figura 52C). Quando utilizada a A3, o teor de K reduziu com a aplicação das menores lâminas. A média do teor de K no caule da moringa foi de 10,11, 10,49, 10,71 e 10,68 g.kg⁻¹ para L40, L60, L80 e L100, respectivamente.

A utilização de AP na irrigação influenciou o acúmulo de K para todas as lâminas de irrigação (Figura 52D). Quando aplicados L60, L80 e L100, a concentração de potássio aumentou com o aumento da quantidade de AP na água de irrigação. Quando irrigado com

L40, o teor de K aumentou até a concentração de 20% de AP e diminuiu com a A3. A média do teor de potássio em relação às águas de irrigação foi de 8,99, 9,72, 11,14 e 12,4 g.kg⁻¹ para A0, A1, A2 e A3, respectivamente.

A acumulação de Ca no caule não apresentou respostas significativas para o modelo linear e nem quadrático, porém pode-se observar que a interação entre a A1 com L60 e L100 promoveram o maior teor do elemento (Figura 53A). O menor teor de Ca foi encontrado no tratamento testemunha. A média de concentração do nutriente no caule da moringa foi de 4,72 g.kg⁻¹.

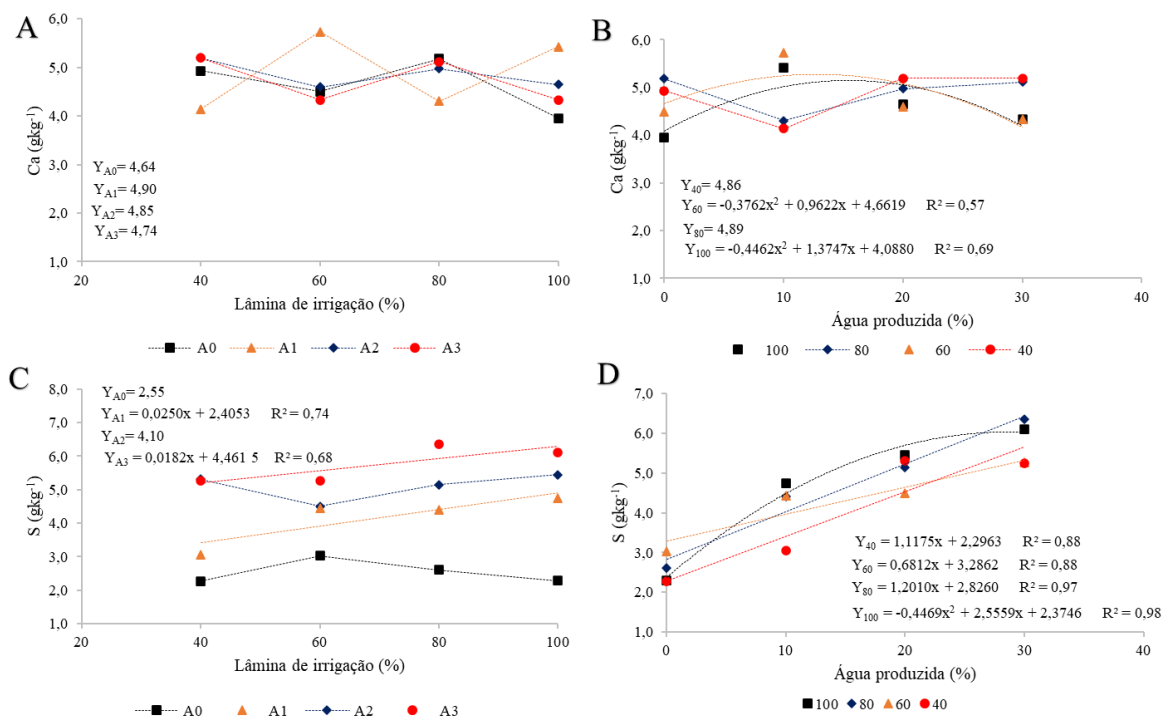


Figura 53: A- Teor de Ca no caule da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. B- Teor de Ca no caule da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação. C- Teor de S no caule da moringa para as diferentes águas de irrigação em função das lâminas de irrigação. D- Teor de S no caule da moringa para as diferentes lâminas de irrigação em função das águas de irrigação.

Quando utilizadas L100 e L60, a A1 favoreceu a maior concentração de Ca no caule da moringa, o qual passou a reduzir com a A2 e A3, porém sempre com médias maiores em relação a A0 (Figura 53B). Quando utilizadas L40 e L80, não houve resposta significativa de interferência das águas para os modelos analisados. A concentração de Mg aumentou com a utilização de AP, fator que pode ter ocasionado a redução na acumulação de Ca em A2 e A3, para L100 e L60.

As LAM influenciaram o acúmulo de S, quando irrigado com A1 e A3, aumentando o teor do elemento com a utilização das maiores lâminas (Figura 53C). Já ao observar todas as LAM isoladas em relação às águas de irrigação, nota-se que o aumento nas concentrações de AP aumentou o teor de S no caule da moringa (Figura 53D). Quando irrigado com A3 o teor de S foi de 125% maior que o tratamento A0, mostrando grande influência de AP na acumulação desse elemento.

4.10 Composição da raiz da *Moringa oleífera* LAM

A utilização de AP sintética na irrigação da moringa ocasionou efeito significativo na acumulação de K, Mg, S e Zn, e as lâminas de irrigação (LAM) não ocasionaram efeito significativo para acumulação dos elementos na raiz da moringa. Também não houve efeito significativo da interação entre LAM x AP na acumulação de elementos na raiz da cultura. (Tabela 24).

Tabela 24: Resumo da análise de variância (significância estatística pelo teste F) para acumulação de fósforo (P), Potássio (K), magnésio (Mg), cálcio (Ca), enxofre (S), sódio (Na), Boro (B), Chumbo (Pb) e Zinco (Zn) na raiz da moringa.

FV	GL	Significância estatística pelo teste F								
		P	K	Mg	Ca	Na	S	B	Pb	Zn
Bloco	3	0,0090	0,0055	0,6936	0,0531	0,5930	0,3612	0,0115	0,3453	0,0857
AP	3	0,1153	0,0082	0,0000	0,2212	0,0911	0,0000	0,9039	0,8143	0,0031
L	1	0,2433	0,0010	0,0000	0,3877	0,0143	0,0000	0,9777	0,8860	0,0003
Q	1	0,0393	0,3376	0,0000	0,0392	0,8523	0,3136	0,6308	0,3618	0,6808
LAM	3	0,7963	0,3551	0,1936	0,4792	0,8703	0,0942	0,5945	0,8143	0,3756
L	1	0,5765	0,2453	0,4074	0,5409	0,8602	0,4159	0,6877	0,7846	0,5065
Q	1	0,4661	0,3583	0,2218	0,5126	0,8911	0,0955	0,6014	0,3612	0,1332
AP x LAM	9	0,0241	0,1899	0,7398	0,0724	0,0781	0,1659	0,5878	0,7651	0,0103
Resíduo	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CV (%)		19,11	20,25	19,81	23,29	24,60	19,09	28,31	92,92	21,08
Média		2,48	12,68	3,24	6,74	4,68	14,80	3,50	0,44	18,61

FV: fonte de variação, GL: grau de liberdade, CV: coeficiente de variação, L: efeito linear, Q: efeito quadrático, AP: água produzida, LAM: lâmina de irrigação, <0,05 significativo ao nível de 5%; <0,01 significativo ao nível de 1%, ns não significativo.

O acúmulo de potássio, enxofre, zinco e Magnésio na raiz aumentaram com a utilização de AP na irrigação, de forma que os três primeiros apresentaram aumento linear (Figura 54A, 54C e 54D), e o Mg (figura 54B) se enquadraram no modelo quadrático. Esse aumento deve estar diretamente relacionado às suas concentrações nas águas utilizadas, que são maiores quanto maiores forem as percentagens de AP.

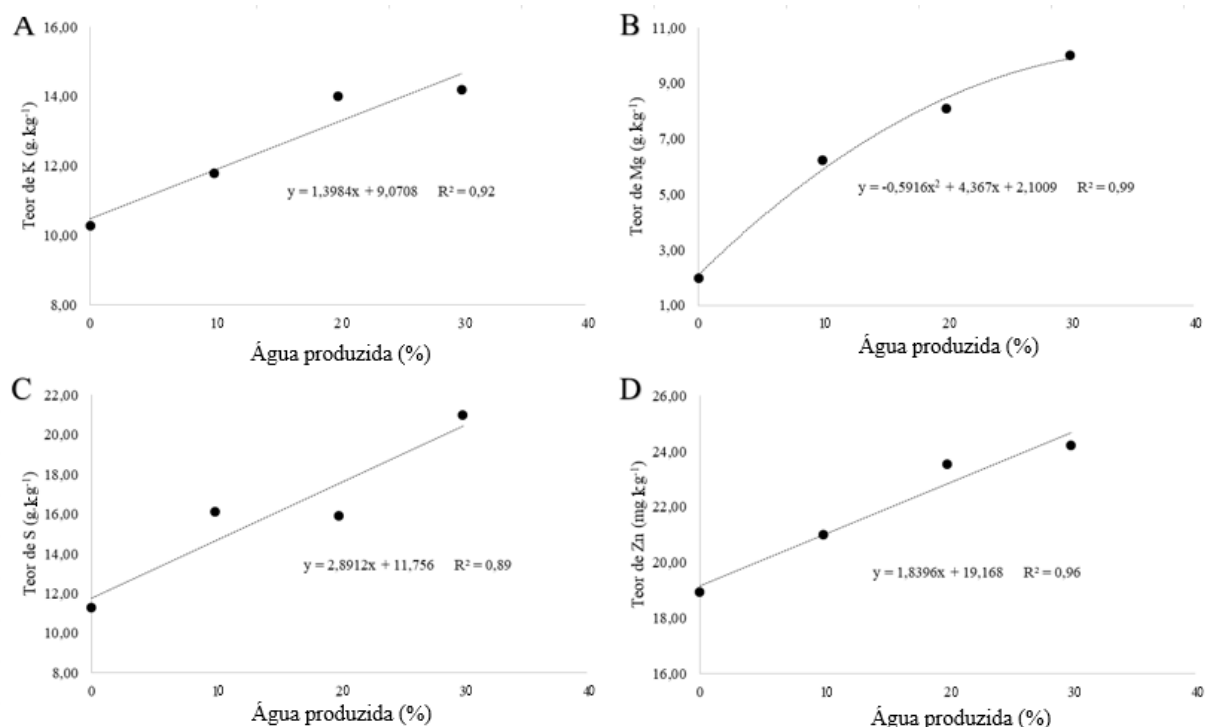


Figura 54: A- Teor de K na raiz da Moringa oleífera Lam x água de irrigação, B- Teor de Mg na raiz da Moringa oleífera Lam x água de irrigação, C- Teor de S na raiz da Moringa oleífera Lam x água de irrigação e D- Teor de Zn na raiz da Moringa oleífera Lam x água de irrigação.

O teor de K na raiz foi de 10,27 e 14,19 g.kg^{-1} quando irrigadas A0 e A3, respectivamente. Fakankun et al. (2013) encontraram 4,75 g.kg^{-1} de K em raiz de Moringa oleífera, sendo, segundo os autores, a parte da planta que apresenta menor teor do nutriente. A moringa apresentou elevada capacidade de absorção de K, aumentando sua concentração quando submetida à sua maior disponibilidade.

O teor de Magnésio na raiz aumentou em torno de 405 % quando comparado o teor para A0 e A3, com médias de 1,98 e 10,00 g.kg^{-1} , respectivamente. As águas de irrigação também ocasionaram aumentos de Mg nas folhas das plantas em proporções semelhantes.

O aumento de S também foi relativamente alto, sendo seus teores na raiz 11,30 e 21,02 g.kg^{-1} quando irrigado com água de abastecimento e água com 30 % de AP, respectivamente. Para o teor de zinco, o aumento seguiu padrões proporcionais mais semelhantes ao do potássio. O teor de Zn nas raízes foi igual a 18,94, 21,00, 23,55 e 24,22 mg.kg^{-1} para A0, A1, A2 e A3, respectivamente.

O teor de sódio na raiz da planta não apresentou resultado estatisticamente significativo, porém a quantidade de Na na raiz reduziu seu acúmulo com o aumento de AP na irrigação, seguindo padrão contrário ao K. O teor desse elemento reduziu de 5,11 g.kg^{-1} para 4,20 g.kg^{-1} em plantas irrigadas com 0 e 30 % de AP, respectivamente, o que representa redução de aproximadamente 18%. Uma vez que o Na não é nutriente e pode ocasionar

toxicidade para as plantas, essa redução pode ser considerada vantajosa para o cultivo da moringa.

Os teores de P, B e Pb não foram influenciados pelos tratamentos estudados, sendo suas concentrações médias na raiz da moringa de 2,48 g.kg⁻¹, 3,50 mg.kg⁻¹, e 0,44 mg.kg⁻¹, respectivamente (Tabela 6).

A absorção dos nutrientes e metais pesados não acontece de forma igual para todas as plantas: existem culturas que apresentam maior seletividade a determinados elementos e outras que não apresentam seletividade. Segundo Crisostomo et al. (2018), o abacaxizeiro ornamental não apresenta seletividade e absorve os metais pesados existentes na AP tratada, ao passo que a mamoneira apresentou alta seletividade ao não ser capaz de absorver o Cd, Co, Cr e Ni. Esses resultados também corroboram com os obtidos por Nookabkaew et al. (2016).

Apesar de não ter sido possível identificar a presença de alguns metais pesados nas raízes da moringa, foi possível encontrar teores de Cd, Co e Pb em partes vegetais da cultura, mostrando que a planta não apresenta elevada seletividade na absorção de metais pesados, caso estejam presentes na água de irrigação e/ou no solo.

5 CONCLUSÕES

A aplicação de lâminas de irrigação deficitárias na moringa afetou algumas características vegetativas e fisiológicas das plantas, entretanto não afetou as características produtivas, como a massa de grãos e o teor de óleo das sementes.

A utilização de diluições de AP sintética na irrigação de moringa afetou positivamente características vegetativas, fisiológicas e produtivas.

As lâminas de irrigação e diluições de água produzida afetaram características químicas do solo, como o pH, CE e teor de P, Na, Ca, Mg e Br.

A composição química das folhas, sementes, caule e raiz da moringa sofreu influência direta dos tratamentos aplicados. A maior concentração de AP sintética na irrigação e a aplicação de maior quantidade de água ocasionaram maior absorção e acumulação de elementos diversos.

O teor de óleo na semente da moringa não sofreu interferência dos tratamentos analisados, sendo o teor médio obtido de 28,47 % de óleo.

O Kc encontrado para a moringa variou entre 0,08 e 0,24 do início até o sétimo mês de cultivo.

A moringa apresentou elevada capacidade de tolerar estresse hídrico de até 40% e salinidade de água de até 1,23 dS.m⁻¹.

A absorção de potássio e sódio pela cultura apresentou comportamento antagônico: quanto maior a disponibilidade desses elementos, mais a planta acumulou K e reduziu a acumulação de Na.

REFERÊNCIAS

- ADEBAYO, A.G.; AKINTOYE, H.A.; OLUFOLAJI, A.O.; AINA, O.O.; OLANTUNJI, M.T.; SHOKALU, A.O. Assessment of organic amendments on vegetative development and nutrient uptake Moringa oleifera Lam in the nursery. **Asian Journal of Plant Sciences**, v. 10, n. 1, p. 74-79, 2011.
- AHMADUN, F.; PENDASHTEH, A.; ABDULLAH, L. C.; BIAK, D. R. A.; MADAENI, S. S.; ABIDIN, Z. Z. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 170, n. 01, p. 530-551, 2009.
- AJEMIGBITSE M. A.; TASKER T. L.; CANNON F. S.; WARNER N. R. Influence of High Total Dissolved Solids Concentration and Ionic Composition on Spectroscopy Radium Measurements of Oil and Gas-Produced Water. **Environmental science & Technology**, v. 3, p. 10295-10302, 2019.
- AL-JUHAIMI, F.; GHAFOR, K.; BABIKER, E. E.; MATTHAUS, B.; OZCAN, M. M. The biochemical composition of the leaves and seeds meals of Moringa species as non conventional sources of nutrients. **Journal of Food Biotechnology**, v. 1, p. 1-10, 2016.
- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2010, 234f.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; MORAES GONÇALVES, J. L.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- AMINI, S.; MOWLA, D.; GOLKAR, M.; ESMAEILZADEH, F. Mathematical modelling of a hydrocyclone for the down-hole oil-water separation (DOWS). **Chemical Engineering Research and Design**, Amsterdam, v. 90, n. 12, p. 2186-2195, 2012.
- ARANTES, C.C. et al. Diferentes formas de aplicação da semente de Moringa oleifera no tratamento de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 3, p. 266-272, 2015.
- ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 2, p. 131-138, 2004.
- ASSUNÇÃO, M.V.D.; VIEIRA, M. M.; ALMEIDA, M. R. Fatores influenciadores na produção indesejada da Água Produzida de petróleo: um estudo na bacia Portiguar/Brasil. **HOLOS**, Natal, v. 2, p. 146-160, 2018.
- AZEVEDO, J. A.; SILVA, E. M. **Tensiômetro**: dispositivo para controle de irrigação. Planaltina: Embrapa cerrados. 1999, 37p. (Embrapa cerrados, circular técnica 0001).
- BARROS, H. M. M.; VERIATO, M. K. L.; SOUZA, L. P.; CHICÓ, L. R.; BAROSI, K. X. L. Reuso de Água na Agricultura. **Revista Verde**, v. 10, n. 5, p. 11-16, 2015.

BASRA, S. M. A. et al. Biomass production and nutritional composition of *Moringa oleifera* under different cutting frequencies and planting spacings. **International Journal of Agriculture and Biology**, Faisalabad, v. 17, n. 5, p. 1814-9596, 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA Nº 393, de 08/08/2007**. Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências.

BRITISH PETROLEUM (BP) Energy Outlook, 2017. Disponível em: <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2017.pdf> Acessado em: 10 mai. 2022.

CASSANITI, C.; ROMANO, D.; FLOWERS, T. J. The response of ornamental plants to 3207 saline irrigation water. In: Garcia Garizabal I (Ed.). **Irrigation-water management, pollution and alternative strategies**. Croácia, p. 131–139, 2012.

Challenges in reusing produced water: SPE white paper. Society of Petroleum Engineers, 2011. Disponível em: <http://www.spe.org/industry/challenges-in-reusing-produced-water>. Acessado em: 10 mai. 2022.

CODAY, B.D.; XU, P.; BEAUDRY, E.G.; HERRON, J.; LAMPI, K.; HANCOCK, N.T.; CATH, T.Y. The sweet spot of forward osmosis: Treatment of produced water, drilling wastewater and other complex and difficult liquid streams. **Desalination**, v. 333, p. 23-35, 2014.

CORRÊA, F. L. O.; SOUZA, A. S.; MENDONÇA, V.; CARVALHO, J. G. Acúmulo de nutrientes em mudas de aceroleira adubadas com fósforo e zinco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 3, p. 765-769, 2002.

COSTA, D. O. **Utilização de Água Produzida do Petróleo na Produção e Capacidade de Fitoextração de Cactácea no Semiárido Brasileiro**. 2019. 135 f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água). Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2019.

COSTA, M. S.; ALVES, S. M. C.; FERREIRA NETO, M.; BATISTA, R. O.; COSTA, L. L. B.; OLIVEIRA, W. M. Produção de mudas de timbaúba sob diferentes concentrações de efluente doméstico tratado. **Revista Irriga**, v. 1, n. 1, p. 408-422, 2012.

CRISOSTOMO, L. A.; WEBER, O. B.; MIRANDA, F. R. de; ARAGÃO, F. A. S. de; OLIVEIRA, M.E. B. de. **Irrigação com água produzida efeitos sobre características do solo e a produção de girassol**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2016. 35 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 120).

CRISOSTOMO, L. A.; WEBER, O. B.; MIRANDA, F. R.; ARAGÃO, F. A. S.; BEZERRA, F. C.; MOSCA, J. L. **Reuso da água produzida na irrigação do abacaxizeiro ornamental**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018. 29 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 158).

DIAS N. S.; BLANCO F. F.; SOUZA, E. R.; FERREIRA, J. S. S.; SOUSA NETO, O. N.; QUEIROZ, I.S. R. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. Manejo da

salinidade na agricultura: Estudo básico e aplicados. **INCTSal**. Fortaleza, p. 151-162, 2016.

ECHCHELH, A.; HESS, T.; SAKRABANI, R. Reusing oil and gas produced water for irrigation of food crops in drylands. **Agricultural Water Management**, v. 206, p. 124–134, 2018.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**, Second. Sunderland, Massachusetts. Sinauer Associates, 2005.

FIGUEREDO, K. S. L.; MARTINEZ-HUITLE, C. A.; TEIXEIRA, A. B. R.; PINTO, A. L. S.; VIVACQUA, C. A.; SILVA, D. R. Study of produced water using hydrochemistry and multivariate statistics in different production zones of mature Fields in the Potiguar Basin-Brasil. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 116, p. 109-114, 2014.

FAHEY, J.W. Moringa oleifera: a review of the medical evidence for its nutritional, therapeutic, and prophylactic properties. Part 1. **Trees for Life Journal**, v. 1, n. 1–15, 2005.

FAKANKUN, O. A.; BABAYEMI, J. O.; UTIARUK, J. J. Variations in the mineral composition and heavy metals content of *Moringa oleifera*. **African Journal of Environmental Science and Technology**, v. 7, n. 6, p. 372-379, 2013.

FAKHRU'L-RAZI, A.; ALIREZA, P.; LUQMAN, C. A.; DAYANG, R. A. B; SAYED, S. M.; ZURINA, Z. A. Review of Technologies for oil and gas produced water treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, p. 530-551, 2009.

FILHO, G. S. T.; SILVA, D. F.; LINS, R. C.; ARAÚJO, C. A. S.; OLIVEIRA, F. F.; MATIAS, S. S. R. Desenvolvimento de mudas de Moringa oleifera (LAM) submetida a diferentes níveis de água salina. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 48671-48683, jul. 2020.

GABARDO, I.T. **Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar**. 2007. 250 f. Tese (Doutorado em Química) Programa de Pós-Graduação em Química – CCET, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

GALLÃO, M. I.; DAMASCENO, L. F.; BRITO, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de moringa. **Revista Ciência Agronômica**, v. 37, n. 1, p. 106-109, 2006.

GOPALAKRISHNAN, L.; DORIYA, K.; KUMAR, D. S. Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application. **Food Science and Human Wellness**, Pequim, v. 5, n. 2, p. 49-56, 2016.

HÖHN, D. O. et al. Moringa Oleifera Lam, Características e Potenciais Usos: Uma Alternativa Sustentável para o Desenvolvimento de Pequenas Comunidades Rurais. **Cadernos de Agroecologia**, v. 13, p. 1–10, 2018.

HOLANDA, A. C.; SANTOS, R. V.; SOUTO, J. S.; ALVES, A. R. Desenvolvimento inicial de espécies arbóreas em ambientes degradados por sais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 1, p. 39-50, 2007.

IGUNNU, E. T.; CHEN, G. Z. Produced water treatment Technologies. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 9, p. 157-177, 2012.

IRIGOYEN, J. J.; EMERICH, D. W; SÁNCHEZ-DÍAZ, M. Water stress induced changes in 4239 concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfafa (*Medicago sativa*) 4240 plants. **Physiologia Plantarum**, v. 84, n. 1, p. 55-60, 1992.

JOUYBAN, Z. The Effects of Salt stress on plant growth. **Journal of Applied Science & 3251 Engineering Technology**, v. 2, n. 1, p. 7-10, 2012.

KHATIB, Z.; VERBEEK, P. **Water to value-produced water management for sustainable field development of mature and green fields**, in: SPE International Conference on Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production. Kuala Lumpur, Malaysia, 2002.

KYTÉRIA SABINA L. DE FIGUEREDO, K. S.; MARTÍNEZ-HUITLE, C. A.; TEIXEIRA, A. B. R.; PINHO, A. L. S.; SILVA, D. R. Study of produced water using hydrochemistry and multivariate statistics in different production zones of mature fields in the Potiguar Basin – Brazil. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 116, p. 109–114, 2014.

KILL, L. H. P.; MARTINS, C. T. V. D.; LIMA, P. C. F. Moringa oleifera: Registro dos visitantes florais e potencial apícola para a região de Petrolina, PE. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**. v. 1, p. 1-19, 2012.

LEONE, A.; SPADA, A.; BATTEZZATI, A.; SCHIRALDI, A.; ARISTIL, J.; BERTOLI, S. Moringa oleifera seeds and oil: characteristics and uses for human health. **International Journal of Molecular Sciences**, Bethesda, v. 17, n. 12, p. 2141, 2016.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MARINHO, J. B. M.; ARRUDA, A. M. V.; FERNANDES, R. T. F.; MELO, A. S.; SOUZA, R. F.; SANTOS, O. G.; FIGUEIRÊDO, L. C.; FERNANDES, R. T. V.; MESQUITA, A. C. N. Uso da moringa na alimentação animal e humana: Revisão. **PUBVET**, v. 10, p. 580-635, 2016.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**, 3rd ed. Academic 652 Press: London, 2012. p. 178–189.

MELO, Y. L. **Suplementação de Potássio e Cálcio Contribui na Proteção Osmótica e Iônica em *Jatropha Curcas* l. Exposta à Salinidade**. 2016. 144 f. Tese (Doutorado em fitotecnia/agronomia). Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

MOTA, A.R.P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K. P.; ARAUJO, P. M.; BRANCO, L. P. N. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 15-26, 2013.

MOYO, B.; MASIKA, P. J.; HUGO, A.; MUCHENJE, V. Nutritional characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, p. 12925-12933, 2011.

- MUNIRASU S.; HAIJA M. A.; BANAT F. Use of Membrane technology for oil field and refinery produced water treatment—A review. **Process Safety and Environment Protection**, v. 100, p. 183-202, 2016.
- NEFF, J.; LEE, K.; DEBLOIS, E.M. Produced water: Overview of composition, fates and effects. In: LEE, K.; NEFF, J. (org.). Produced water, environmental risks and advances in mitigation technologies. Cidade: Editora, 2011. p. inicial-final do artigo.
- NOGUEIRA, S. F.; CARMO, J. B.; MONTES, C. R.; VICTORIA, R. L.; RAVAGNANI, E. C.; BARUFADI, R. O. Indicadores eco-fisiológicos da qualidade de um solo irrigado com esgoto tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 138-142, 2005.
- NOOKABKAEW, S.; RAMGKADILOK, N.; SATAYAVIVAD, J. Determination of trace elements in herbal tea products and their infusions consumed in Thailand. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 54, p. 6939-6944, 2006.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; SEDIYAMA, T. Deficiência de manganês e plantas de soja cultivadas em solos de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 199-204, 2007.
- NSC. **The prevention of pollution from offshore installations**. Capítulo 8: Progress report to the 5th North Sea Conference, Bergen. 2002, p. 160-171.
- OLIVEIRA, D. S.; FONSCCECA, X. D. S.; FARIAS, P. N.; BEZERRA, V. S.; PINTO, C. H. C.; SOUZA, L. D.; SANTOS, A. G. D.; MATIAS, L. G. O. Obtenção do biodiesel através da transesterificação do óleo de Moringa oleifera Lam. Rio Grande do Norte. **Hollos**, Natal, v. 1, n. 1, p. 49-61, 2012.
- OLIVEIRA, F. A.; OLIVEIRA, M. K. T.; SILVA, R. C. P.; SILVA, O. M. P.; MAIA, P. M. E.; CÂNDIDO, W. S. Crescimento de mudas de moringa em função da salinidade da água e da posição das sementes nos frutos. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 79-87, 2013.
- OLIVEIRA JUNIOR, V. M.; LOPES, T. S.; PEREIRA FILHO, J. V.; BARBOSA, J. R.; SOARES, B. W. F.; PEREIRA, C. C. M. S. Crescimento vegetativo da moringa em distintos regimes de irrigação associados a composições de diferentes substratos. **Irriga**, v. 1, n. 4, p. 646-652, 2021.
- PÉREZ-CASANOVA, J.C.; HAMOUTENE, D.; HOBBS, K.; LEE, K. Effects of chronic exposure to the aqueous fraction of produced water on growth, detoxification and immune factors of Atlantic Cod. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 86, p. 239-249, 2012.
- RANGEL, M. S. **Moringa Oleifera: um purificador natural de água e complemento alimentar para o nordeste do Brasil**. Disponível em: <http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A10moringa.htm>. Acesso em: 06 jan. 2022
- RÊGO, L. G. S.; MARTINS, C. M.; SILVA, E. F.; SILVA, J. J. A.; LIMA, R. N. S. Pedogenesis and soil classification of an experimental farm in Mossoró, state of Rio Grande do Norte, Brazil. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 29, p. 1036-1042, 2016.

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de fertilizantes e Minas Gerais: 5ª aproximação. Viçosa, MG: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C., U.S. Salinity Laboratory. Scientific publishers, 2012.

RICHARDS, L. A. **Diagnosis and improvement of saline and álcali soils**. Washington, US Department of Agriculture, 1954.

ROCHA, J. H. B.; GOMES, M. M. S.; FERNANDES, N. S.; SILVA, D. R.; MARTINEZHUITLE, C. A. Application of electrochemical oxidation as alternative treatment of produced water generated by Brazilian petrochemical industry. **Fuel Processing Technology**, v. 96, p. 80–87, 2012.

ROY, S. J.; NEGRÃO, S.; TESTER, M. Salt resistant crop plants. **Current Opinion in 3312 Biotechnology**, v. 26, p. 115–124, 2014.

SANTOS, C. S.; MONTENEGRO, A. A.; SANTOS, M. A. L.; PEDROSA, E. M. R. Evapotranspiration and crop coefficients of Moringa oleifera. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 12, p. 840-845, 2017.

SANTOS, A. A.; RODRIGUES, M. H. B. S.; SILVA, G. V.; GOMES, F. A. L.; SILVA, J. N. CARTAXO, P. H. A. Importância do reuso de água para irrigação no semiárido. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 3, p. 15-20, 2020.

SCHMIDT, D. M.; LIMA, K. C.; JESUS, E. S. Variabilidade climática da disponibilidade hídrica na região semiárida do estado do Rio Grande do Norte. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, Rio de Janeiro v. 41, n. 3, p. 483-491, 2018.

SEDLACKO, E. M.; CHAPARRO, J. M.; HEUBERGER, A. L.; CATH, T. Y.; HIGINS, C. P. Effect of produced water treatment technologies on irrigation-induced metal and salt accumulation in wheat (*Triticum aestivum*) and sunflower (*Helianthus annuus*). **Science of the Total Environment**, v. 740, p. 1-13, 2020.

SILVA, E. C. A.; LUCENA, P. G.; NASCIMENTO, R. M.; SANTOS, C. A.; ARAÚJO, R. P. S.; NOGUEIRA, R. J. M. C. Mecanismos bioquímicos em Moringa oleifera Lam. para tolerância à salinidade. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 6, n. 4, p. 54-71, 2017.

SILVA, E. C.; CUSTÓDIO, R. J. M.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; NETO, A. D. A.; SANTOS, N. V. Comportamento estomático e potencial da água da folha em três espécies lenhosas cultivadas sob estresse hídrico. **Acta Botânica Brasilica**, v. 17, n. 2, p. 231-246, 2003.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes/editor técnico**. Embrapa, Brasília, v. 2, p. 1-627, 2009.

SINGH, A. K.; RANA, H. K.; TSHABALALA, T.; KUMAR, R.; GUPTA, A.; NDHLALA, A. R.; PANDEY, A. K. Phytochemical, nutraceutical and pharmacological attributes of a functional crop Moringa oleifera Lam: An overview. **South African Journal of Botany**, v. 1, p. 1-12, 2019.

SINGH, A. K.; RANA, H. K.; TSHABALALA, T.; KUMAR, R.; GUPTA, A.; NDHLALA, A. R.; PANDEY, A. K. Phytochemical, nutraceutical and pharmacological attributes of a functional crop *Moringa oleifera* Lam: An overview. **South African Journal of Botany**, v. 1, p. 1-12, 2019.

SOUSA, L. F. B.; MELO, A. Benefícios da moringa oleífera para saúde humana e meio ambiente. **Revista Faculdade do Saber**, São Paulo, v. 4, n. 7, p. 472-484, 2019.

SOUTO, J. S. **Moringa- 333 perguntas e respostas**. Campina Grande- PB: EDUFCEG, 2011.

SOUTO, J. S.; NASCIMENTO, J. A. M. Adubação e nutrição mineral da moringa. In: SILVA, G. S.; SANTANA, M. F. S.; LIMA, A. K. V. O.; BERGAMASCO, R.; PAIVA, P. M. G.; SANT'ANNA, M. C. S.; SERAFINI, M. R.; BERY, C. C. S. (org.). **Potencialidades da Moringa Oleífera Lam**. São Cristovão: Editora UFS, 2018. p. inicial-final do artigo.

STADTLANDER, T.; BECKER, K. Proximate composition, amino and fatty acid profiles and element compositions of four different *Moringa* species. **Journal of Agricultural Science**, v. 9, p. 46-57, 2017.

STANIC, J. Unconventional oil and gas production drives trends in water management and treatment. *Glob. Water Intell.* **Journal of petroleum technology**. Disponível em: <https://jpt.spe.org/unconventional-oil-and-gas-production-drives-trends-water-management-treatment>. Acessado em: 1º mai. 2020.

TAVARES FILHO, G. S.; SILVA, D. F.; LINS, R. C.; ARAÚJO, C. A. S.; OLIVEIRA, F. F.; MATIAS, S.S.R. Desenvolvimento de mudas de *Moringa oleifera* (LAM) submetida a diferentes níveis de água salina. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 48671-48683, 2020.

VAN RAIJ, B.; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo, 1996. 285p. (Boletim Técnico, 100).

VASCONCELOS, M. C.; COSTA, J. C.; SOUZA, J. P. S.; SANTANA, F. V.; SOARES, T. F. S. N.; OLIVEIRA, L. F. C. J.; SILVAMANN, R. Biometric and Physiological Responses to Water Restriction in *Moringa oleifera* Seedlings. **Floresta e Ambiente**, v. 26, n. 1, p. 1-8, 2019.

VEIL, J.; PUDER, M. G.; ELCOCK, D.; REDWEIK, R. J. J. **A white paper describing produced water from production of crude oil, natural gas, and coal bed methane**. Pittsburgh: Argonne National Laboratory for US Department of Energy, 2004. 87 p.

VIEIRA, G. F. **Determinação de macro e micro nutrientes de frutos de *Moringa oleifera* Lamarck (parede interna e externa da casca) e sementes**. 2017. 121 f. Dissertação (Mestrado em química)- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

VIEIRA, H.; CHAVES, L. H. G.; VIÉGAS, R. A. Acumulação de nutrientes em mudas de moringa (*Moringa oleifera* Lam) sob omissão de macronutrientes. **Revista de Ciências Agrônomicas**, v. 39, n. 01, p. 130-136, 2008.

VIEIRA, V. M. **Água produzida no segmento onshore de petróleo– caracterização de cenários na Bahia e prospecção de soluções para gerenciamento.** 2011. N° de folhas. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador- BA, 2011.

WITZE, A. Race to unravel Oklahoma’s artificial quakes. **Nature**, v. 520, p. 418-419, 2015.

YOKOI, S.; BRESSAN, R. A.; HASEGAWA, P. M. **Salt stress tolerance of plants**, West 2564 Lafayette: JIRCAS Working Report, 2002. p. 25-33.

Apêndice I

A determinação da área foliar foi realizada por estimativa, uma vez que não poderia utilizar métodos destrutivos. Foram coletadas folhas de tamanhos aleatórios nas plantas da bordadura do experimento, mediu-se o comprimento e a largura para determinar a área quadrada de cada folha (Tabela 1).

Tabela 1: Dimensões das folhas coletadas.

Folha			
Folha	Comprimento	Largura	AQF
1	33,30	37,50	1248,75
2	35,80	41,00	1467,80
3	26,00	26,40	686,40
4	25,90	26,40	683,76
5	38,50	50,10	1928,85
6	42,20	51,10	2156,42
7	35,10	46,80	1642,68
8	40,00	50,30	2012,00
9	37,80	52,50	1984,50
10	39,90	54,10	2158,59

AQF: área quadrada da folha

Feito isso, foram destacados os folíolos e medida a área total de cada folha por meio do integrador de área foliar (Licor inc., Lincon, Nebraska) modelo LI-COR 3100 (figura 1). Cada folha teve sua leitura repetida duas vezes, e as médias dessas três leituras foram multiplicadas por 3,33, que é o fator de conversão da leitura do equipamento para Cm^2 (tabela 2).

Tabela 2: Leituras do integrador de área foliar.

Leitura (Cm^2)				
Folha	Leitura1	Leitura2	Média	Área foliar
1	114,00	129,00	121,50	404,60
2	156,00	150,00	153,00	509,49
3	68,00	62,00	65,00	216,45
4	63,00	69,00	66,00	219,78
5	192,50	203,25	197,88	658,92
6	234,00	228,00	231,00	769,23
7	165,00	164,40	164,70	548,45
8	235,00	229,00	232,00	772,56
9	219,00	216,00	217,50	724,28
10	251,00	256,00	253,50	844,16

Com os valores da área quadrada das folhas e da área foliar medida no equipamento, determinou-se a equação 1 por meio de regressão, para estimativa da área foliar das plantas. Mensalmente media-se o comprimento e largura das folhas das plantas para determinar a área foliar total de cada planta.

Equação 1:

$$AF = 0,3998 \times AQF - 71,633; \quad r^2 = 0,98$$

Onde;

AF: Área foliar (Cm²)

AQF: Área quadrada da folha (Cm²)