



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**COORDENAÇÃO DE PROGRAMA DE PÓS – GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E**  
**GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS**

**ARMANDO RODRIGUES DE MELO**

**USO DA ÁGUA RESIDUARIA DOMÉSTICA TRATADA E ADUBAÇÃO**  
**FOSFATADA NO CULTIVO DA *Moringa oleífera* Lam.**

**CAMPINA GRANDE**  
**2020**

ARMANDO RODRIGUES DE MELO

**USO DA ÁGUA RESIDUARIA DOMÉSTICA TRATADA E ADUBAÇÃO  
FOSFATADA NO CULTIVO DA *Moringa oleífera* Lam.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como parte dos requisitos necessários para obtenção do título.

Orientador: Prof. Dr. José Dantas Neto

Coorientador: Prof. Dr. Aldrin Martin Pérez-Marin

CAMPINA GRANDE

2020

M528u

Melo, Armando Rodrigues de.

Uso da água residuária doméstica tratada e adubação fosfatada no cultivo da *Moringa oleifera* Lam. / Armando Rodrigues de Melo. - Campina Grande, 2020.

95 f. : il. Color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2020.

"Orientação: Prof. Dr. José Dantas Neto, Prof. Dr. Aldrin Martin Pérez-Marin.

Referências.

1. *Moringa oleifera* Lam.. 2. Reutilização de Água. 3. Água Residuária. 4. Irrigação Agrícola. 5. Aporte Nutricional. 6. Fosfato de Monoamônico. 7. UASB. 8. Fertirrigação. I. Dantas Neto, José. II. Pérez-Marin, Aldrin Martin. III. Título.

CDU 628.1:631.67(043)

ARMANDO RODRIGUES DE MELO

**USO DA ÁGUA RESIDUARIA DOMÉSTICA TRATADA E ADUBAÇÃO  
FOSFATADA NO CULTIVO DA *Moringa oleífera* Lam.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais.

APROVADO EM 31/08/2020

**BANCA EXAMINADORA**



Prof. Dr. José Dantas Neto - UFCG  
Orientador



Prof. Dr. Aldrin Martin Pérez-Marin -INSA  
Coorientador



Profª Drª. Vera Lúcia Antunes de Lima -UFCG  
Membro Interno



Profª Drª. Patrícia Ferreira da Silva-UFCG  
Membro Externo

## DEDICATÓRIA

*Aos meus pais, Antônio e Inês, pelo exemplo de dignidade e esperança, pela confiança na minha capacidade e acreditarem que eu seria capaz de superar os obstáculos que a vida me apresentou.*

*À minha amada esposa Lúcia e ao meu amado filho Pedro, por todo amor, incentivo, apoio e compreensão. Nada disso teria sentido se vocês não existissem na minha vida.*

## AGRADECIMENTOS

A **Deus**, pela dádiva da vida e por me permitir realizar seus planos em minha vida. Obrigado por me permitir sonhar, aprender, crescer e realizar.

Ao **Prof. José Dantas Neto**, pela orientação, competência, profissionalismo e pelas valiosas contribuições dadas durante todo o processo.

Ao **Prof. Aldrin Martin Pérez-Marin**, coorientador, agradeço pela dedicação, competência, apoio e todo conhecimento compartilhado.

Aos membros da banca examinadora, **Prof<sup>a</sup> Vera Lúcia Antunes de Lima** e **Prof.<sup>a</sup> Patrícia Ferreira da Silva** que tão gentilmente aceitaram participar e colaborar com esta dissertação.

À **Prof<sup>a</sup> Patrícia Ferreira da Silva**, pelo exemplo de competência com que leva a responsabilidade do ensino e pesquisa. Agradeço principalmente pelo apoio, desde a minha qualificação. Agradeço pela contribuição no trabalho como um todo, além do suporte, amizade e admiração que passei a ter no decorrer dos encontros.

À **Prof<sup>a</sup> Lourdes Cardoso**, por ter sido a primeira a acreditar em mim. Obrigada pelos ensinamentos deixados nos primeiros anos de estudo.

Ao **Prof. Pedro Dantas Fernandes** meu orientador na graduação (TCC e Iniciação Científica). Agradeço imensamente por ter despertado em mim a pesquisa, que me proporcionou ter, além de um professor, um amigo. O seu conhecimento juntamente com a sua dedicação foi essencial para a minha formação. Agradeço muito pela prontidão e auxílio, nas inúmeras vezes que recorri a ele e pela paciência e confiança que sempre depositou em mim.

Ao **Prof. Arsenio Pessoa de Melo Junior** pela contribuição dada no início do projeto de dissertação. Obrigado por me apresentar a *Moringa oleífera* Lam. como possibilidade de pesquisa.

A **todos os colegas e amigos** da Pós-graduação aos quais tive oportunidade de conviver, trocar experiências e conhecimentos.

A todo o **corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPEGRN/UFCCG**, pela qualidade no ensino, pesquisa, e pelas dicas para o ofício de pesquisador.

Ao **Instituto Nacional do Semiárido (INSA)** pelo apoio e possibilidade de realizar o trabalho de campo nas dependências da unidade de pesquisa integrante do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), com enfoque no Semiárido brasileiro.

A **Universidade Federal de Campina Grande**, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPEGRN/UFCG, pelo acolhimento e a oportunidade da realização deste curso.

Por fim, a todos aqueles que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização desta dissertação, o meu sincero agradecimento.

## RESUMO

A reutilização da água se faz necessário devido à escassez hídrica em várias partes do mundo. O uso da água residuária na irrigação agrícola já é uma realidade, com resultados favoráveis ao crescimento e desenvolvimento das plantas, contudo, se faz necessário adotar um manejo adequado para evitar danos ao solo e prejuízo no cultivo de plantas que podem ter importância nutricional e comercial, como é o caso da planta *Moringa oleífera* Lam. Assim, essa pesquisa se utilizou da água residuária doméstica tratada por meio de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo do tipo (UASB) em diferentes proporções para a irrigação no cultivo da planta *Moringa oleífera* Lam. comparando com o tratamento testemunha (água potável) mais a interação com a adubação fosfatada, ( $7,9 \text{ gkg}^{-1}$ ) de fósforo por meio da fertirrigação utilizando o fosfato de monoamônico (MAP) Purificado (Dripsol®). Para tanto, o experimento foi conduzido entre os meses de julho a novembro do ano 2019 em casa de vegetação pertencente à Estação Experimental do Instituto Nacional do Semiárido – INSA, no município de Campina Grande – PB. O delineamento adotado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os fatores em estudo foram arranjados em esquema fatorial 5 x 2 no qual os tratamentos foram compostos pela combinação de dois fatores, fator 1: cinco diferentes níveis de concentração de água residuária diluídos em água de abastecimento para a irrigação da *Moringa* (25%, 50%, 75%, 100% e água de abastecimento como tratamento testemunha). Fator 2: dois manejos de adubação (AF – adubação fosfatada e SA – sem adubação fosfatada). Foram avaliadas as características de crescimento das plantas (altura, diâmetro de caule e número de folhas) dos 15 até os 110 dias após o início dos tratamentos (DAIT), teores de Clorofila A, B, Total e Carotenoides aos 90 DAIT, a concentração de nitrogênio, fósforo e potássio presentes nas folhas da *Moringa* aos 90 DAIT, taxa de crescimento absoluto e taxa de crescimento relativo em altura das plantas dos 15 até os 110 DAIT, teor de matéria fresca e matéria seca da parte aérea da *Moringa*, taxa de crescimento absoluto e relativo da matéria fresca e seca da parte aérea das plantas, relação raiz / parte aérea das plantas e, por fim, a determinação do aporte de nutrientes e alterações na química do solo ao final da aplicação dos tratamentos. Nos resultados verificou-se que a utilização de água residuária (AR) contribuiu para o crescimento das plantas, alcançando o valor máximo com a concentração de 75% de AR, nessa mesma concentração alcançou o maior teor de N e com 100% de AR os maiores teores de P e K na parte aérea das plantas, na taxa de crescimento absoluto em altura das plantas, matéria fresca e matéria seca da parte aérea, atingiu o maior nível com 75% de AR. As alterações químicas e o teor de nutrientes no solo sofreram maior influência a partir de 75% de água residuária na irrigação. O tratamento com adubação fosfatada teve resultados superiores aos tratamentos com água residuária nos parâmetros de crescimento, aumentou o teor de N e P na parte aérea da *Moringa*, aumentou a taxa de crescimento absoluto e relativo em altura das plantas, aumentou a produção de matéria fresca e matéria seca na parte aérea das plantas e modificou a composição química do solo. Tanto a AR quanto a AF influenciaram na relação raiz / parte aérea das plantas.

**Palavras-chave:** *Moringa*; reuso; aporte nutricional; fosfato de monoamônico; UASB; fertirrigação.

## ABSTRACT

Water reuse is necessary due to water scarcity in various parts of the world. The use of wastewater in agricultural irrigation is already a reality, with favorable results for the growth and development of plants. However, it is necessary to adopt adequate management to avoid damage to the soil and damage in the cultivation of plants that may have nutritional and commercial importance, as is the case of the *Moringa oleifera* Lam plant. Thus, this research used domestic wastewater treated using Upflow Anaerobic Reactors and Sludge Manta (UASB) in different proportions for irrigation in the cultivation of the *Moringa* plant oil Lam. comparing with the control treatment (drinking water) plus the interaction with phosphate fertilization ( $7.9 \text{ gkg}^{-1}$ ) of phosphorus through fertigation using Purified monoammonium (MAP) phosphate (Dripsol®). For this purpose, the experiment was carried out between the months of July and November of the year 2019 in a greenhouse belonging to the Experimental Station of the Instituto Nacional do Semiárido - INSA municipality of Campina Grande - PB. The design adopted was a randomized block with four replications. The factors under study were arranged in a  $5 \times 2$  factorial scheme in which the treatments were composed of a combination of two factors, factor 1: five different levels of wastewater concentration diluted in drinking water for the irrigation of *Moringa* (25%, 50%, 75%, 100% and water supply as a control treatment). Factor 2: two fertilization managements (AF - phosphate fertilization and SA - without phosphate fertilization). The growth characteristics of the plants (height, stem diameter, and a number of leaves) from 15 to 110 days after the beginning of treatments (DAIT), levels of Chlorophyll A, B, Total, and Carotenoids at 90 DAIT were evaluated. Nitrogen, phosphorus, and potassium present in *Moringa* leave at 90 DAIT, absolute growth rate and relative growth rate in plant height from 15 to 110 DAIT, fresh matter and dry matter content of the aerial part of *Moringa*, rate of the absolute and relative growth of the fresh and dry matter of the aerial part of the plants, root / aerial part of the plants and, finally, the determination of nutrient input and changes in soil chemistry at the end of the treatment application. In the results, it was verified that the use of wastewater (AR) contributed to the growth of the plants, reaching the maximum value with the concentration of 75% of AR, in that same concentration reached the highest N content and with 100% of AR the higher levels of P and K in the aerial part of the plants, in the absolute growth rate in the height of the plants, fresh matter and dry matter of the aerial part, reached the highest level with 75% of RA. The chemical changes and the nutrient content in the soil were most influenced by 75% of wastewater in irrigation. The treatment with phosphate fertilization had better results than the treatment with wastewater in the growth parameters, increased the content of N and P in the aerial part of *Moringa*, increased the rate of absolute and relative growth in the height of the plants, increased the production of fresh matter and dry matter in the aerial part of the plants and modified the chemical composition of the soil. Both RA and AF influenced the root / aerial part of the plants.

**Keywords:** *Moringa*; reuse; nutritional support; monoammonium phosphate; UASB; fertigation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Casa de vegetação da Estação Experimental do Instituto Nacional do Semiárido – INSA.....	32
<b>Figura 2</b> - Sistema de tratamento da água residuária na Estação Experimental do Instituto Nacional do Semiárido – INSA.....	34
<b>Figura 3</b> - Croqui do experimento.....	35
<b>Figura 4</b> - Preparação dos vasos para o cultivo das plantas.....	36
<b>Figura 5</b> - Análises de crescimento das plantas.....	40
<b>Figura 6</b> - Desdobramento da interação AR x AF para altura de plantas (A) e de fator isolado tempo para altura de plantas (B) ao logo do ciclo de cultivo .....	44
<b>Figura 7</b> - Desdobramento da interação AR x AF para diâmetro de caule (A) e em função do tempo em dias após o início dos tratamentos (B) ao logo do ciclo de cultivo. ....	46
<b>Figura 8</b> - Desdobramento da interação AR x AF (A) e em função do tempo em dias após o início dos tratamentos (B) para número de folhas ao logo do ciclo de cultivo .....	48
<b>Figura 9</b> - Taxa de crescimento relativo em altura das plantas em função da água residuária (A) em função da adubação fosfatada (B) da interação AR x AF (C) em função do tempo em dias (D) e taxa de crescimento relativo em altura das plantas em função do tempo .....	50
<b>Figura 10</b> - Matéria fresca das plantas em função da água residuária (A) em função do tempo em dias (B) e da interação AR x AF.....	53
<b>Figura 11</b> - Matéria seca da parte aérea das plantas em função da água residuária (A) em função do tempo em dias (B) e da interação AR x AF.....	55
<b>Figura 12</b> - Taxa de crescimento absoluto da matéria fresca da parte aérea (TCA_MFPA) das plantas em função da água residuária (A), em função da adubação fosfatada (B) e em função do tempo em dias (C). Taxa de crescimento relativo da matéria fresca da parte aérea (TCR_MFPA) das plantas em função do tempo.....	57
<b>Figura 13</b> - Taxa de crescimento absoluto da matéria seca da parte aérea (TCA_MSPA) das plantas em função da água residuária (A), em função da adubação fosfatada (B) e em função do tempo em dias (C). Taxa de crescimento relativo da matéria seca da parte aérea (TCR_MSPA) das plantas em função do tempo.....	59
<b>Figura 14</b> - Relação raiz / parte aérea das plantas em função da água residuária e em função da adubação fosfatada.....	61
<b>Figura 15</b> - Teor de nitrogênio ( $\text{gkg}^{-1}$ ) presente nas folhas de Moringa aos 90 dias após o início dos tratamentos .....	64

<b>Figura 16</b> - Teor de fósforo ( $\text{gkg}^{-1}$ ) presente nas folhas de Moringa aos 90 dias após o início dos tratamentos .....	65
<b>Figura 17</b> - Teor de potássio ( $\text{gkg}^{-1}$ ) presente nas folhas de Moringa aos 90 dias após o início dos tratamentos em função da água residuária doméstica tratada .....	67
<b>Figura 18</b> - Teor de potássio ( $\text{gkg}^{-1}$ ) presente nas folhas de Moringa aos 90 dias após o início dos tratamentos em função da adubação fosfatada.....	68
<b>Figura 19</b> - Valores médios de fósforo (P) (A) e potássio (K) (B) em solo cultivado com Moringa em função da adubação fosfatada .....	72
<b>Figura 20</b> - Valores médios de sódio (Na) e condutividade elétrica do extrato de saturação (CE.es) no solo após experimento em função da fertirrigação com água residuária.....	74
<b>Figura 21</b> - Valores médios de alumínio (Al) e acidez potencial (H+Al) no solo após o experimento em função do uso de água residuária e adubação fosfatada .....	76
<b>Figura 22</b> - Valores médios da soma de bases (SB) do solo em função da fertirrigação com água residuária e aplicação fosfatada .....	78
<b>Figura 23</b> - Valores médios da capacidade de trocas catiônicas (CTC) do solo em função da fertirrigação com água residuária e adubação fosfatada.....	79
<b>Figura 24</b> - Valores médios de carbono (C), matéria orgânica (MO) e saturação por bases (V%) do solo ao final do experimento em função da adubação fosfatada .....	80

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Parâmetros físicos do solo antes da implantação do experimento .....	32
<b>Tabela 2</b> - Parâmetros químicos e fertilidade do solo antes da implantação do experimento .	32
<b>Tabela 3</b> - Análise química das águas utilizadas no experimento .....	33
<b>Tabela 4</b> - Aporte de água na irrigação por tratamento .....	37
<b>Tabela 5</b> - Acumulado de fósforo ( $\text{mgL}^{-1}$ ), potássio ( $\text{meqL}^{-1}$ ), nitrato ( $\text{mgL}^{-1}$ ) e nitrito ( $\text{mgL}^{-1}$ ) ofertado na irrigação aos 30, 60, 90 e 110 DAIT para cada tratamento aplicado sem adubação fosfatada.....	41
<b>Tabela 6</b> - Quadrado médio para altura de plantas, diâmetro de caule e número de folhas em função dos tratamentos e tempo em dias após o início dos tratamentos .....	43
<b>Tabela 7</b> - Quadrado médio para taxa de crescimento absoluto em altura de plantas e taxa de crescimento relativo em altura de plantas em função dos tratamentos e tempo.....	49
<b>Tabela 8</b> - Quadrado médio para matéria fresca e matéria seca da parte aérea das plantas em função dos tratamentos e tempo .....	52
<b>Tabela 9</b> - Quadrado médio para taxa de crescimento absoluto e relativo da matéria fresca e seca da parte aérea das plantas em função dos tratamentos e tempo.....	57
<b>Tabela 10</b> - Quadrado médio para relação raiz / parte aérea das plantas em função dos tratamentos.....	61
<b>Tabela 11</b> - Quadrado médio para a quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio presente nas plantas em função dos tratamentos .....	63
<b>Tabela 12</b> - Quadrado médio para Clorofila a, b, total e carotenoides aos 90 dias após o início da aplicação dos tratamentos .....	69
<b>Tabela 13</b> - Resumo da análise de variância para pH, fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio + magnésio (Ca+Mg), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio + alumínio (H + Al), carbono (C), matéria orgânica (MO), soma de bases (SB), capacidade de trocas catiônicas (CTC), saturação por bases (V) e condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.es) de solo irrigado com água residuária e adubação fosfatada para o desenvolvimento da cultura da moringa.....	71

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AF – Adubação fosfatada

Al – alumínio

AP - Altura da planta

ARDT - água residuária doméstica tratada

ASD - áreas susceptíveis à desertificação

ATP – adenosina trifosfato

Ca – cálcio

CAGEPA - Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba

CCTA - Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar

CCTD - Centro de Testes de Tecnologias de Dessalinização de água

CE - Condutividade Elétrica

CEes - Condutividade elétrica do extrato de saturação

CFT - Compostos de flavonóides totais

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CTC – Capacidade de troca de cátions

TCA\_MFPA - Taxa de crescimento absoluto da matéria fresca da parte aérea

TCA\_MSPA - Taxa de crescimento absoluto da matéria seca da parte aérea

TCR\_MFPA - Taxa de crescimento relativo da matéria fresca da parte aérea

TCR\_MSPA - Taxa de crescimento relativo da matéria seca da parte aérea

Cu - Cobre

CV - Coeficientes de variação

DAS - Dias após a semeadura

DAIT - Dias após o início dos tratamentos

DAT - Dias após o transplântio

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DC - Diâmetro do caule

DQO - Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EXTRABES - Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations* / Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

Fe – Ferro

FL - Fração de lixiviação

H – Hidrogênio

INSA - Instituto Nacional do Semiárido

K – Potássio

LABDES - Laboratório de Dessalinização

LIS - laboratório de Irrigação e Salinidade

MAP – *monoammonium phosphate* / fosfato de monoamônio

MCTI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MF - Matéria fresca

Mg – Magnésio

Mn – Manganês

MO – Matéria orgânica

MS - Matéria seca

Na – Sódio

N – Nitrogênio

n – Zinco

NF - Número de folhas

P – Fósforo

pH - Potencial hidrogeniônico

QNAA - Quantidade de nutrientes na água de abastecimento

QNAR - Quantidade de nutrientes na água residuária

RR/PA - Relação raiz / parte aérea

SA – Sem adubação

SBCS - Sociedade Brasileira de Ciência do Solo

T – Tempo;

TCAAP - Taxa de crescimento absoluto em altura das plantas

TCA - Taxa de crescimento absoluto

TCRAP - Taxa de crescimento relativo em altura das plantas

TCR - Taxa de crescimento relativo

TCF - Total de compostos fenólicos

UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors* / Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo

UEPB - Universidade Estadual da Paraíba

UFCG - Universidade Federal de Campina Grande

UFPB - Universidade Federal da Paraíba

VA - Volume de água

VAP - Volume de água aplicado

VD - Volume de água drenada

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	Objetivos .....	17
2.	REVISÃO DA LITERATURA .....	18
2.1	Centro de origem, caracterização botânica e propagação da Moringa	18
2.2	Possíveis usos da Moringa oleifera	19
2.3	O reuso de água na agricultura	24
2.3.1	Irrigação com água residuária	25
2.3.2	Regulamentações sobre o uso da água residuária	26
2.3.3	Efeito da aplicação do uso da água residuária sobre o solo	27
2.4	Efeito da adubação com NPK sobre as plantas	29
3.	MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1	Localização da área experimental	30
3.2	Caracterização do solo e da água utilizada no experimento	31
3.3	Delineamento experimental, tratamentos e sistema de plantio	33
3.4	Características do manejo da irrigação	35
3.5	Aporte de Fósforo, Potássio, Nitrito e Nitrato nas águas de irrigação	36
3.6	Variáveis analisadas	37
3.7	Análises Estatísticas	39
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1	Componentes de crescimento	42
4.2	Atributos químicos do solo após o experimento	69
5.	CONCLUSÕES .....	81
	REFERÊNCIAS.....	82

## 1. INTRODUÇÃO

Diante de diversas utilidades da *Moringa oleífera*, sua função nutricional tem despertado o interesse da comunidade científica, contudo, não se sabe ao certo como essa planta se desenvolve em condições de cultivo alternativo com o uso de água residuária na irrigação. Na *Moringa oleífera* Lam. contém mais de 90 compostos químicos nutricionais, incluindo proteínas, lipídios e carboidratos, além de ser rica em fibras, dada a razão que tem sido utilizada nos trópicos como fonte de alimento para superar a desnutrição, especialmente em crianças (BRILHANTE *et al.*, 2017). Apesar de ter sido inserida no Brasil na década de 1950 como planta ornamental, a *Moringa* teve seu cultivo disseminado muito em função do seu poder nutricional, sobretudo nas folhas que são ricas em caroteno, ácido ascórbico e ferro (BARRETO *et al.*, 2009).

Devido o alto teor de proteína nas folhas, a *Moringa* tem sido uma fonte de suplementação alimentar também para os animais, fornecendo forragem principalmente em períodos de estiagem em condições semiáridas, onde a planta tem demonstrado ser bem adaptada, se tornando uma alternativa sustentável para a criação de animais onde as pastagens são escassas (GUALBERTO *et al.*, 2015). Cabe salientar ainda que é crescente o interesse da ciência em pesquisar os componentes da *Moringa* para fins de dieta animal, ao estudarem o efeito da inclusão de farinha de folhas de moringa na proporção de 6% nas rações de leitões. Zhang *et al.* (2019) concluíram que houve melhoras nos parâmetros de crescimento, com efeitos limitados sobre as características da carne, sugerindo que essa pode ser uma estratégia de alimentação eficiente para o crescimento dos leitões. Segundo Pérez *et al.* (2010) a *Moringa* se apresenta como um alimento importante para os animais, uma vez que o conteúdo de proteína e vitaminas pode ser um suplemento importante e com um equilíbrio nutricional na criação de gado leiteiro e de engorda, bem como na dieta das aves, peixes e porcos. Na aquicultura, o suplemento alimentar a partir das folhas secas da *Moringa* pode substituir, de forma parcial, a proteína na dieta das Tilápias (KALEO, *et al.*, 2019). Carvalho *et al.* (2017) enfatizam que uma das ferramentas para suprir a alimentação dos rebanhos no semiárido brasileiro é a *Moringa oleífera* Lam., necessitando que seu cultivo seja incentivado.

A *Moringa* tem a capacidade de resistir à baixa umidade sem perder sua capacidade produtiva, tolerando elevadas temperaturas e baixos índices pluviométricos como é o caso do semiárido brasileiro (PINA, 2015). Santos *et al.* (2017) ao avaliar a evapotranspiração e coeficientes de cultivo de *Moringa oleífera* em condições semiáridas no estado de Pernambuco, concluíram que o houve uma variação de 0,73 a 1,73 no coeficientes de cultivo em diferentes

estádios fenológicos da Moringa, tendo uma evapotranspiração oscilando entre 139,8 mm, para uma evapotranspiração de referência cumulativa de 130,97 mm em função das alterações climáticas da região.

Segundo Chaturvedi *et al.* (2015), todas as culturas precisam de água para o seu desenvolvimento e, na ausência ou no déficit de chuvas, a irrigação tem se caracterizado como um subterfúgio imprescindível para a produção agrícola que, atualmente é muito dependente dos recursos hídricos para fins de irrigação, e o volume de água dispensado para este fim segue num ritmo que, no futuro, pode ser insustentável frente a crescente demanda de produção de alimentos, por tanto, é urgente a necessidade de adoção de práticas mais sustentáveis para a gestão dos recursos hídricos (HESPANHOL *et al.*, 2002). Nesse contexto, o reúso da água pode ser uma alternativa para a produção agrícola sustentável, contribuindo para o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas (FONTELES *et al.*, 2015).

Água residuária é denominada como aquela que contém resíduo proveniente de atividade humana (ABNT: NBR 7229, 1993, p. 2). A utilização de água residuária doméstica tratada para a irrigação agrícola representa um método planejado para amenizar os efeitos da carência em recursos hídricos, principalmente em regiões de semiaridez (OLIVEIRA *et al.*, 2014). De acordo com Santos *et al.* (2016) o semiárido brasileiro tem como características baixa pluviosidade com irregularidade de volume e distribuição das chuvas. Nessa região, a agricultura de subsistência é gravemente afetada pela escassez dos recursos hídricos (LITRE *et al.*, 2017), pois como enfatizado por Valeriano *et al.* (2018) a deficiência hídrica tende a reduzir o desempenho das culturas, afetando negativamente sua produtividade.

Quando utilizada de forma responsável, a água residuária doméstica tratada (ARDT), além de ser uma alternativa para suprir as necessidades hídricas, tende a agregar na agricultura uma importante fonte de macro e micronutrientes, e dentre esses nutrientes, destaca-se o nitrogênio e o fósforo que são de fundamental importância para o bom desempenho dos vegetais (MAIMONE; HARDER, 2014; SOUZA *et al.*, 2017). Corroborando com essa afirmação, Oliveira *et al.* (2014) enfatizam que o uso da ARDT reúne vários fatores para a irrigação agrícola, tais como: reduz a adição de fertilizantes químicos, aumenta a produtividade das culturas, reduz o uso de água potável para a irrigação e o melhora a fertilidade do solo cultivado devido ao aporte de nutrientes e matéria orgânica presentes na água residuária.

Os solos do Brasil, em maior parte, são carentes de fósforo, o que se faz necessário o uso de fertilizantes fosfatados para suprir as necessidades das culturas agrícolas, pois, a importância do fósforo para as plantas tem enorme relevância para o seu crescimento e desenvolvimento, sendo um fator preponderante na transferência e no armazenamento de

energia além de auxiliar na absorção de outros nutrientes (SILVA; IGNÁCIO; SILVA, 2017). O fósforo possui importância fundamental para a produção de mudas por desempenhar a função de conversão nos processos fotoquímicos e de fotossíntese, atuando como um propulsor na produção de biomassa (ANDRADE *et al.*, 2018). Já o potássio (K) é reconhecidamente importante para a fisiologia dos vegetais, sendo esse, o principal cátion inorgânico tendo um papel primordial na atividade das enzimas, no potencial osmótico, na manutenção das células e na absorção de água e nutrientes (LIMA *et al.*, 2019).

O uso de ARDT acrescida de nutrientes como fósforo, pode ser entendido como fertirrigação, técnica esta conhecida por irrigar as plantas com fertilizantes adicionados à água, é um método expandido na agricultura, sobretudo no cultivo de frutíferas e hortaliças, porém, ainda é escassa atualmente na literatura no tocante a fertirrigação de culturas arbóreas e seus efeitos no desempenho produtivo nessas culturas (PEREIRA *et al.*, 2016).

Assim, verifica-se que o estudo da utilização de água residuária tratada associada a fósforo aplicados via fertirrigação na Moringa, é relevante para se conhecer os benefícios dessa técnica para o desenvolvimento da espécie. Diante desse contexto, a presente pesquisa justifica-se pela relevância em utilizar o manejo da água residuária tratada de origem doméstica para a irrigação no cultivo da Moringa oleífera Lam. avaliando os benefícios que esse método pode trazer para a fertilidade do solo e o crescimento e desenvolvimento da cultura, como também, suas possíveis limitações e complicações tanto para o solo quanto para a cultura.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Geral**

Avaliar o crescimento, o desenvolvimento e as alterações químicas do solo no cultivo da *Moringa oleífera* Lam. fertirrigada com água residuária doméstica tratada e adubação fosfatada.

### **1.1.2 Específicos**

- Determinar altura, diâmetro de caule, número de folhas, taxa de crescimento absoluto e taxa de crescimento relativo em altura das plantas em função dos tratamentos;
- Analisar e mensurar a Clorofila A, Clorofila B, Total e Carotenoides nas folhas da *Moringa oleífera* em função dos tratamentos com água residuária na irrigação;
- Avaliar a concentração de nitrogênio, fósforo e potássio presentes em folhas da Moringa oleífera sob fertirrigação com água residuária tratada e adubação fosfatada aos 90 dias após o início dos tratamentos;

- Determinar o teor de matéria fresca e matéria seca, taxa de crescimento absoluto e taxa de crescimento relativo da matéria fresca e matéria seca da parte aérea da *Moringa* em função dos tratamentos realizados;
- Avaliar a relação raiz / parte aérea das plantas em função dos tratamentos realizados;
- Determinar o aporte de nutrientes e alterações na química do solo ao final da aplicação dos tratamentos.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 Centro de origem, caracterização botânica e propagação da *Moringa*

A *Moringa oleífera* Lam. teve origem no Noroeste da Índia, encontra-se disseminada no Paquistão, Malásia, Tailândia, Nigéria e Jamaica, popularmente conhecida como Quiabo de Quina, Lírio Branco e também de Acássia Branca (MEDEIROS *et al.*, 2017). Cultivada de forma perene, é uma planta arbórea de alta capacidade de se adaptar às condições de clima e aridez do solo, tal como o semiárido do Nordeste brasileiro, sendo uma planta de crescimento rápido, mesmo em solos degradados e exige poucos cuidados no seu cultivo, podendo alcançar até 12 metros de altura, o diâmetro do seu tronco pode chegar a 30 centímetros revestidos de uma casca de cortiça branqueada (GUALBERTO *et al.*, 2015).

A *Moringa oleífera* Lam. é a espécie mais conhecida do gênero *Moringa*, ela está espalhada por uma grande parte do planeta, e na América Central foi introduzida na década de 1920 com a finalidade uma planta ornamental e para cercas vivas. Nativa do sul do Himalaia, região nordeste da Índia, pertencente à família *Moringaceae*, suas folhas são compostas em grupos de folhetos com um comprimento de 30-70 cm. Suas flores são bissexuadas, com pétalas brancas e estames amarelos podendo florescer de 1 a 2 vezes por ano a depender das condições edafoclimáticas da região, sua polinização é realizada por abelhas e outros insetos. Seus frutos comportam até 25 sementes que são de forma arredondada de cor marrom escuro com três asas esbranquiçadas. Cada árvore pode fornecer de 15.000 a 25.000 sementes por ano (PÉREZ *et al.*, 2010).

A *Moringa oleífera* é uma planta amplamente distribuída nas regiões tropicais e subtropicais do mundo (AHMAD, *et al.*, 2017). Esta espécie pode se propagar por duas maneiras: sexuada e assexuada. O mais comumente utilizado para plantações é pelo modo sexual, principalmente quando o objetivo é a produção de forragens. A sementeira é feita a uma profundidade de 2 cm, e germinaram entre 5 a 10 dias com taxas de germinação elevadas, superiores a 90% sem a necessidade de tratamento pré-germinativo, contudo, quando armazenadas por mais de dois meses tende a diminuir o seu poder germinativo. Outro método

de propagação é por estacas de 1 a 1,4 m de comprimento. Quando cultivadas com a finalidade para alimentação, deve-se adotar a poda apical para promover o crescimento de novos rebentos (PÉREZ *et al.*, 2010).

A *Moringa oleífera* Lam, pertence à família da Moringaceae composta por 14 espécies, tendo o gênero *Moringa Oleífera* como o mais disseminado, sendo este, inserido em solos brasileiro na década de 1950, se adaptando bem principalmente às condições encontradas na região Nordeste (NOGUEIRA *et al.*, 2016).

A *Moringa* pode ser cultivada de forma intensiva, para tanto, as necessidades de nutrientes no solo por hectare / ano<sup>-1</sup> é de 1,8 kg de cálcio; 0,5 kg de cobre; 1,4 kg de magnésio; 380 kg de fósforo; 0,6 kg de boro; 280 kg de nitrogênio e 0,3 kg de zinco. Podendo haver variações de quantidade e tipos de nutrientes a depender de cada região (PÉREZ *et al.*, 2010). É uma cultura que se adaptou bem nas regiões de semiárido brasileiro, e está presente em vários outros países devido ao seu alto potencial produtivo, até mesmo em solos que têm uma baixa fertilidade natural. Outro fator positivo é o fato de que esta planta também é considerada como fitoremediadora do solo e da água sendo por isso, utilizada também na recuperação de áreas degradadas (SOUZA *et al.*, 2018).

A *Moringa* tem boa adaptação numa gama de solo com pH entre 4,5 e 8, exceto argilas pesadas, mas com melhor desempenho em solos neutros ou ligeiramente ácidos, suportando um calor de até 48 °C, podendo ser encontrada em altitudes que variam de a partir do nível do mar até 1.800 m, sendo por tanto, uma planta de alta resiliência ecológica (PÉREZ *et al.*, 2010).

## **2.2 Possíveis usos da *Moringa oleífera***

De acordo com Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca – PAN Brasil, a conjugação dos fatores pobreza e desigualdade nas regiões onde se encontram as Áreas Susceptíveis à Desertificação – ASD, são evidenciados os processos mais acelerados de degradação do meio ambiente, no qual uma grande quantidade de pequenos agricultores de baixa renda depende dos seus trabalhos para a produção de alimentos para o consumo próprio e forragens para os animais, por vezes exaurindo os recursos naturais e assim, agravando ainda mais os processos de degradação do meio ambiente.

Silva *et al.* (2017) ao estudarem insegurança alimentar na zona rural do Nordeste brasileiro, consideraram que essa região consiste num ambiente que favorece a geração de alimentos de maneira sustentável, em condições de sobrepor a vulnerabilidade alimentar que tem predominado sobre as famílias pobres da zona rural. De acordo com Olson *et al.* (2016) a deficiência de nutrientes e minerais acometem 1 a cada 3 pessoas, principalmente crianças em

países subdesenvolvidos. Por tanto, a produção de vegetais que tenham além de alto teor nutricional uma excelente adaptação às condições de clima semiárido, a exemplo da *Moringa oleífera* Lam para as regiões tropicais.

Na visão de Nogueira *et al.* (2016) a *Moringa oleífera* compõe uma grande variedade de utilização, podendo ser aproveitadas todas as partes da planta para uma gama de finalidades, tais como, na alimentação humana (folhas, flores, frutos e sementes), na elaboração de condimentos (raízes), na formulação de remédios terapêuticos (todas as partes da planta), na alimentação animal (folhas, frutos e sementes), na fabricação de cosméticos (óleo extraído das sementes), na composição de combustíveis (madeira e óleo das sementes), no tratamento de água para consumo humano (cotilédones e tegumento das sementes), assim como, na produção de mel pelas abelhas que coletam o néctar das flores dessa planta.

Leone *et al.*, (2015) relatam que o uso da *Moringa oleífera* se estende de várias formas, desde medicinal, no tratamento de água, na formulação de pesticida biológico, na produção do biodiesel, e principalmente na culinária, onde a utilização das suas folhas, parte mais empregada para este fim, tem boas concentrações de vitaminas, carotenóides, polifenóis, ácidos fenólicos, flavonóides, alcalóides, glucosinolatos, isotiocianatos, taninos e saponinas. Além do seu potencial econômico e social, a Moringa também tem um alto potencial produtivo mesmo em condições de solo com baixa concentração de matéria orgânica, sendo considerada inclusive como uma planta fitorremediadora do solo e da água, e por essa razão, associada na recuperação do ambiente degradado (SOUZA *et al.*, 2018).

A população mundial está aumentando em ritmo preocupante, devendo chegar a cerca de seis bilhões de pessoas até o final de 2050, sendo assim, será necessário aumentar em até 50% a produção de alimentos no mundo para corresponder à demanda da população global, segundo estimativas da FAO (2017). Contudo, a produtividade agrícola se vê ameaçada devido ao efeito de vários estresses abióticos e variação climática. Segundo Latif e Mohamed (2016) a alta temperatura é considerada um dos mais importantes fatores ambientais que afetam o crescimento e desenvolvimento das plantas, pois, o estresse criado pela alta temperatura pode provocar déficit hídrico nos tecidos de plantas, que por sua vez levam a lesões das membranas celulares e consequente redução das taxas de transpiração, na síntese de proteínas, e na absorção de íons e de transporte.

A Moringa está sendo considerada uma planta arbórea com potencial econômico, nutricional e medicinal, já que todas as suas partes são fontes de proteínas, vitaminas e carotenoides, é uma planta essencial no atendimento à segurança alimentar e mantém a subsistência de milhões de pessoas no mundo (SOUZA *et al.*, 2018). Muitos são os estudos que

apontam numerosas propriedades farmacológicas nas folhas da Moringa como no controle de diabetes, doenças cardiovasculares, dislipidemia e doenças infecciosas, contudo, a eficácia dessa planta sobre essas enfermidades ainda não tem comprovação científica em animais nem seres humanos (LEONE *et al.*, 2015). Trata-se de uma planta altamente valorizada e cultivada em muitos países, devido o alto teor nutricional e antioxidante, é atribuída a essa planta várias propriedades medicinais em diferentes partes desse vegetal, como a raiz, a casca, as folhas, flores, sementes e óleo de semente (BADEJO *et al.*, 2017).

Quase todas as partes da planta Moringa têm utilidades como alimento. Para Rufai *et al.* (2016) os frutos jovens, as flores e as folhas contem de 5 a 10% de proteína. As folhas são uma rica fonte de vitaminas A, B, e C, como também são fontes de minerais, tais como cálcio e ferro, além de enxofre, aminoácidos, metionina e cisteína. As flores podem ser consumidas na forma chá, enquanto que as vagens, quando ainda verdes, podem ser cozidas para serem consumidas, tendo uma concentração notável de ferro e de cobre. E as sementes das vagens maduras podem ser fritas e consumidas também na forma de óleo comestível.

De todas as partes da planta, as folhas da Moringa tendem a ser a mais interessante para fins de alimentação, por serem ricas em carotenóides, vitamina A e C, potássio e proteína, além de grande número de compostos bioativos incluindo os polifenóis (ácidos fenólicos e flavonóides) e carotenoides (KALEO *et al.*, 2019). Os estudos de Glover *et al.* (2016) concluíram que a farinha feita das folhas da Moringa contém níveis significativos de micronutrientes como betacaroteno, Cu, Zn, Mn, e Fe, se configurando como um rico suplemento alimentar, principalmente para crianças em fase escolar.

A ocorrência de agentes patogênicos resistentes aos antibióticos em frangos de corte constitui uma ameaça séria para a saúde humana. Isso levou os cientistas a procurar alternativas de alimentação, que possam servir em mais de uma finalidade. Um desses recursos é um grupo de aditivos para a alimentação animal denominado aditivos fitogênicos, que incluem partes de vegetais ou plantas inteiras (KHAN, *et al.*, 2017). Objetivando estudar os efeitos da ração suplementada de vagens secas e moídas de Moringa para a alimentação de galinhas, Ahmad *et al.* (2017) concluíram que esse suplemento pode ser utilizado como promotor de crescimento alternativo, revelando, neste estudo, que houve bom desempenho da produção e aumento da imunidade das aves alimentadas com esse suplemento.

Estudos relatados por Alabi *et al.* (2017) afirmam que as folhas da Moringa oleífera são uma fonte natural para a alimentação de frangos de corte, tendo inclusive, potenciais efeitos prébióticos e potencialmente fitoquímicos antioxidantes, tais como o ácido clorogênico e ácido cafeico, com atividades antibacterianas e imuno-estimulante, com capacidade para substituir

antibióticos sintéticos, e ainda, resultando em aumento de produtividade de frangos de corte, e a farinha de folhas dessa planta lhe confere boa fonte de compostos antioxidantes tais como ácido ascórbico, flavonóides, compostos fenólicos e carotenóides. De acordo com Khan, *et al.* (2017), a farinha da folha seca da *Moringa oleífera* pode ser uma alternativa importante para suplementar à dieta de frangos de corte por ser fonte de proteínas, lipídeos, carboidratos, minerais e vitaminas A, C e E, além de ter propriedades antibacteriana, antiinflamatória, antioxidante e antifúngica de largo espectro, o que contribui para um bom desempenho da arquitetura intestinal e componentes imunológicos associados ao intestino de frangos de corte.

Sarwar *et al.* (2017) consideram que antioxidantes são aquelas substâncias que adiam ou obstruem os danos oxidativos, mesmo presentes em quantidades muito pequenas em comparação com um substrato oxidável, e dessa forma, atua na prevenção de doenças em animais vivos, neutralizando os radicais livres ou inibindo os danos por eles devido à existência de compostos químicos de alto potencial, como os ácidos fenólicos, além disso, as plantas produzem muitos compostos bioativos com bom potencial antioxidante, como ácido ascórbico, ácido benzóico, carotenóides, etc.

Pesquisa publicada por Pakade *et al.* (2012) mostraram que a *Moringa* é uma planta que contém antioxidantes naturais em grande concentração, comparando com vegetais hortícolas (repolho, espinafre, ervilhas, couve-flor e brócolis), as folhas de *Moringa* teve três vezes o total de compostos fenólicos - TPC e o dobro de compostos de flavonóides totais - TFC desses vegetais e a capacidade de eliminação de radicais nas folhas de *Moringa* também foram muito mais elevados do que os dos produtos hortícolas selecionados, sugerindo que a *moringa* é uma importante fonte de antioxidante natural. O suplemento alimentar na dieta dos animais tem os objetivos de melhorar os recursos na forragem, prevenir doenças e aumentar a eficiência da produção animal, nesse contexto, a farinha das folhas secas da *Moringa oleífera* é uma alternativa viável para ser incluída em dietas de aves sem comprometer a saúde do animal e, portanto, sua produtividade (CASTILLO *et al.*, 2018).

As plantas e os seus metabolitos, conhecidos como compostos bioativos, como os carotenóides, flavonóides e óleos essenciais, desempenham um papel chave para o bom desenvolvimento dos animais devido aos seus atributos de aditivos alimentares que inibem o desenvolvimento de micróbios patogênicos e endotoxinas no intestino e no pâncreas, ajudando a manter a saúde e produtividade do animal, assim como na produção de ovos de galinha seguros e saudáveis (AHMAD *et al.*, 2017). Estudos em diferentes partes da planta *Moringa* apontam a presença de minerais, vitaminas, proteínas, betacarotenos, alcaloides, aminoácidos, ácidos graxos, esteróis, tocoferóis, glucosinolatos e compostos fenólicos, sendo que a planta

inteira tem um alto valor nutricional na alimentação humana e animal (FERNÁNDEZ *et al.*, 2015).

Ainda de acordo com Fernández *et al.* (2015) são muitas as utilidades da Moringa oleífera como princípio ativo, como fertilizante, biocombustível, e também como floculante para purificação da água e redução da turbidez e da contaminação bacteriana. A utilização de produtos naturais para o tratamento da água se configura como uma alternativa do ponto de vista da sustentabilidade por apresentar um baixo nível de toxicidade e baixo teor de lodo residual viabilizando a substituição de produtos químicos como coagulantes. Nesse sentido, vários estudos apresentam a Moringa como alternativa de coagulante natural, sobretudo na região semiárida, onde é notória a escassez de água e que compromete a criação de animais (OLIVEIRA *et al.*, 2018). As sementes e cotilédones da Moringa podem ser usados como um método natural para a clarificação de água para consumo humano, pois estudos mostram elevados níveis de sedimentação de material particulado presente na água, e assim, diminuindo a turbidez e clarificando a água (PÉREZ *et al.*, 2010).

A utilização das sementes da Moringa para a remoção da turbidez e clarificação de água é uma realidade atual, com a finalidade de tornar mais potável a água de mananciais superficiais, sobretudo no ambiente rural onde há carência de meios para o adequado tratamento da água principalmente no período chuvoso devido ao carreamento de sólidos suspensos (MUNIZ; DUARTE; OLIVEIRA, 2015). A Moringa é uma planta dotada de uma proteína catiônica de grande peso molecular, que atua na desestabilização de partículas presentes na água turva, viabilizando a agregação dos flocos e simplificando assim sua separação da água pelo processo de sedimentação (FRANCISCO *et al.*, 2014).

O tratamento simplificado de águas superficiais para abastecimento humano a base de sementes trituradas dessa planta, pode ser feito em variados locais a um custo baixo, e que dispensa a necessidade de energia elétrica, sendo, portanto, uma boa opção tecnológica para a clarificação da água e, por ser biodegradável, contribui ainda para a conservação ambiental (OLIVEIRA *et al.*, 2018). Objetivando estudar o tratamento de água utilizando o coagulante extraído das sementes de Moringa em meio salino e aquoso, avaliando a eficiência de separação óleo/água, Pereira *et al.* (2011) atestaram a eficiência da proteína coagulante das sementes de Moringa apontando um percentual de 96% na remoção de óleo em água com a utilização de 0,5 mL<sup>-1</sup> desse coagulante, demonstrando que as sementes dessa planta são eficazes para essa finalidade.

Para Evangelista *et al.* (2015) as técnicas convencionais de tratamento de água residuária podem causar danos ao meio ambiente, motivo pelo qual, a sociedade científica

estude meios de tratamento natural desses corpos d'água, em substituição do método tradicional e mitigando os impactos ambientais. Nesse cenário, a *Moringa oleífera* Lam aparece como uma alternativa viável, atuando como floculante e coagulante orgânico, apresentando propriedades favoráveis para o tratamento biológico da água residuária.

### **2.3 O reuso de água na agricultura.**

A necessidade de investimento em fontes alternativas de água como é o caso do efluente doméstico tratado é fundamental (ROLIM *et al.*, 2016). Em alguns países, é possível observar um significativo aumento de produtividade agrícola com ganhos ambientais e econômicos a partir do reuso da água proveniente de esgoto doméstico, diante de alguns fatores vantajosos como, a promoção e conservação da fertilidade do solo, preserva os corpos d'água ao evitar o depósito direto do efluente, reduz gastos com fertilizantes e diminui o uso de água potável na irrigação. Contudo, deve ser considerada a prudência ao fazer uso de água residuária, sobretudo no tocante ao volume aplicado e em período longo, o que pode favorecer a proliferação de agentes nocivos à saúde com o acúmulo de materiais tóxicos orgânicos e inorgânicos (HESPANHOL *et al.*, 2002). Quando utilizada de forma descontrolada e sem tratamento, a água residuária fica propensa a causar danos à saúde de quem a manipula devido às concentrações de diversos agentes patogênicos presente nessa água, como os protozoários, as bactérias, os vírus e nematoides (ROLIM *et al.*, 2016).

De acordo com a Resolução nº 54/2005 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) a água residuária é aquela que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas, onde o reuso local de esgoto tratado, segundo a NBR 13969 (1997) é definido como a “utilização local do esgoto tratado para diversas finalidades, exceto para o consumo humano”. O artigo 3º da Resolução nº 430 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA (2011) diz que: “Os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados diretamente nos corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis”. Para Rolim *et al.* (2016) dentre os principais métodos para tratar esgoto se encontra os reatores anaeróbios, essa metodologia tem se propagado no tratamento de esgoto domiciliar, a exemplo: Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB) sigla inglesa para Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactors, se configurando como um modelo de tratamento vantajoso tanto do ponto de vista econômico quanto na eficácia em remover resíduos orgânicos.

### 2.3.1 Irrigação com água residuária.

A irrigação na agricultura é dependente de água em grande quantidade e de boa qualidade. Porém, a qualidade da água é um fator que nos tempos atuais tem sido desprezado, dado a razão de em tempos passados existir água de boa qualidade em maior abundância, realidade que mudou ao passar do tempo devido ao uso indiscriminado dessa água, motivo pelo qual, faz os projetos de irrigação utilizarem águas adicionais, recorrendo assim as águas de baixa qualidade (BORGES *et al.*, 2018).

De acordo com Nascimento *et al.* (2016), o uso de água residuária na irrigação agrícola vem tendo ultimamente um considerável aumento pela adoção dessa prática em vários países e também no Brasil, entretanto, pesquisas a respeito dessa prática ainda são escassas, havendo a necessidade de estudos mais pormenorizados sobre os efeitos da água residuária nas propriedades físico-químicas do solo, assim como da assimilação de substâncias nocivas ou não pelas plantas. Nesse contexto, Nascimento *et al.* (2016) ainda elencam os motivos mais relevantes para o uso cada dia mais frequente de água residuária na irrigação, sendo eles, a carência de água de qualidade, o surgimento de novas tecnologias científicas na agricultura, maior rigor na legislação do meio ambiente, restringindo o uso de água potável e uma gestão mais atuante do meio ambiente, como forma de melhorar a qualidade de vida humana e animal.

De acordo com estudos publicados pelo Programa de Avaliação de Águas no Mundo - ONU (2018), a degradação do meio ambiente e a contaminação das águas são problemas que geram riscos graves ao ecossistema e ao desenvolvimento da humanidade. O aumento da densidade demográfica em centros urbanos, a industrialização e a intensa atividade agrícola tem impulsionado a deterioração da qualidade da água no mundo, limitando a utilização dos recursos naturais, sobretudo a água doce para atender as necessidades da humanidade.

Segundo Lira *et al.* (2016), é necessário fazer uso mais racional da água, inclusive, utilizando na irrigação de culturas agrícolas água classificada como de qualidade inferior, que são originadas de esgotos doméstico, drenagem agrícola e também águas salobras, sendo esta prática vantajosa pois, ao aproveitar a água residuária estará conservando e reciclando os recursos hídricos e seus nutrientes assim como preservando o meio ambiente, sendo por estas razões uma prática bem recomendada. Para Fonteles *et al.* (2015) o reuso da água proveniente de esgoto tratado consiste efetivamente em medidas controladoras da contaminação das águas ao passo em que diminui o volume de esgotos lançados nos corpos d'água.

Reutilizar as águas não é uma prática simples, Almeida (2011) enfatiza a necessidade de uma série de cuidados que deve se ter, considerando sua qualidade e sua destinação,

observando as normas de segurança para resguardar a saúde e o meio ambiente de possível contaminação por agentes contaminantes de qualquer natureza.

### **2.3.2 Regulamentações sobre o uso da água residuária**

Quando as águas residuárias são despejadas nos corpos d'água superficiais sem antes serem tratadas, prejudica sua utilização, elevando os níveis de contaminação microbiológica em rios e lagos (MUFFAREG, 2003). A Agenda 21, (1994) declarando especial importância ao reuso da água, recomendou aos países participantes da ECO – 92 que implementem políticas de gestão dedicadas a reciclagem de efluentes, integrando a saúde coletiva dos grupos de risco com as práticas adequadas ao meio ambiente. De acordo com Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT: NBR 7229, p. 2 (1993), água de reuso é a água residuária após passar pelo tratamento que possa atender a determinada finalidade ou aplicação, dentro dos padrões que lhe são conferidos.

A utilização de água residuária doméstica tratada na irrigação agrícola vem sendo referida como alternativa promissora para suprir as necessidades hídricas das culturas e, ao mesmo tempo, aumentar o aporte de nutrientes no solo cultivado (SILVA *et al.*, 2014). Segundo Almeida, (2011) em 1973, a Organização Mundial da Saúde - OMS publicou “Reuse of Effluents: Methods of Wastewater Treatment and Public Health Safeguards”, dando enfoque aos métodos de tratamento de água residuária com vistas para a proteção da saúde coletiva, e em 1989, houve uma atualização após novos estudos epidemiológicos, intitulado “Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture” com propostas para a utilização da água de reuso na agricultura e aquicultura seguindo critérios estabelecidos.

Quanto a utilização da água de reuso no Brasil, Hespanhol, (2002) relata que, embora ainda não exista legislação específica sobre esse tema, já existe um direcionamento para institucionalizar o reuso da água como abordado na “Conferência Interparlamentar sobre Desenvolvimento e Meio Ambiente” que se realizou em Brasília, no ano de 1992, uma recomendação, sob o item Conservação e Gestão de Recursos para o Desenvolvimento (Paragrafo 64/B), para somar maiores esforços no intuito de “institucionalizar a reciclagem e reuso sempre que possível e promover o tratamento e a disposição de esgotos, de maneira a não poluir o meio ambiente” em nível nacional. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 430/11, alterando as resoluções de nº 20/86, nº 274/00 e nº 357/05, passou a ser o principal instrumento de regulação e classificação das águas existentes no Brasil, estabelecendo as diretrizes concernentes ao meio ambiente e suas recomendações, além de

estabelecer os padrões condicionantes para a destinação dos efluentes, com vistas à proteção dos recursos hídricos.

### **2.3.3 Efeito da aplicação da água residuária sobre o solo**

A água residuária tratada de origem doméstica é uma rica fonte de nutrientes como NPK que, na irrigação agrícola, sendo manejada de forma criteriosa, permite oferecer suprimentos essenciais para o desenvolvimento dos vegetais (SANTOS *et al.*, 2016). E mais do que isso, pode substituir o uso de água potável para a irrigação agrícola, contribuindo para a fertilidade do solo e reduzindo os impactos negativos ao meio ambiente por evitar que o efluente doméstico seja descartado nos corpos hídricos indiscriminadamente (CARVALHO *et al.*, 2017).

O acesso a fertilizantes minerais pode ser muito dispendioso para muitos agricultores, o que impõe a adoção de técnicas para a fertilização do solo que possa combinar fontes orgânicas e inorgânicas através do fornecimento de nutrientes e minerais como fonte de energia para a atividade microbiana no solo (GONZÁLEZ-GONZÁLEZ; CRESPO-LÓPEZ 2016). Nesse sentido, o uso de água residuária doméstica tratada pode ser considerada como uma fonte de nutrição importante para as culturas agrícolas, possibilitando a contenção de fertilizantes minerais, aproveitando os nutrientes e minerais presentes na água residuária e seu potencial para a fertilização de solos agrícolas (MARQUES *et al.*, 2017).

A utilização de água residuária tratada de origem doméstica na irrigação agrícola tem ganhado cada vez mais importância, pois essa água fornece nutrientes essenciais às plantas para o seu desenvolvimento, sendo até possível substituir, em alguns casos, a utilização de fertilizantes químicos, como a adubação fosfatada pela água residuária (SANTOS *et al.*, 2019). Corroborando com essa teoria, Firmino *et al.* (2015) afirma que a maior vantagem de aproveitar a água residuária tratada na irrigação agrícola é o fato de que essa disponibiliza alguns nutrientes para as plantas ao mesmo tempo em que está reciclando os recursos hídricos, evitando que essa água se misture com outros mananciais, conservando a água potável dando um destino mais sustentável desse recurso e assim, preservando o meio ambiente.

Ao utilizar água residuária tratada na irrigação agrícola pode elevar o aporte de nutrientes as plantas e assim promover maior crescimento e produtividade das culturas, contudo, quando se utiliza de grande volume dessa água na irrigação das culturas, se eleva o risco de contaminação do solo e também de causar toxicidade nas culturas devido a substâncias químicas que estão presentes na água residuária, sendo por esse motivo, recomendado que se utilize da água residuária apenas para complementar a irrigação num volume suficiente que atenda a necessidade das plantas para absorver determinados nutrientes presentes na água

residuária (SANTOS *et al.*, 2016). Na visão de Costa *et al.* (2017) é proveitoso o uso de água residuária para a irrigação agrícola pelo potencial de nutrientes que essa água carrega e também pela disposição desse recurso em todo tempo, no entanto, é necessário o uso controlado dessa água devido a alta concentração de sódio para evitar danos ao ambiente, como por exemplo a acidificação do solo e da água subterrânea.

A qualidade dos frutos é outro fator positivo da irrigação com água residuária conforme apontaram os estudos de Batista *et al.* (2017) sobre a qualidade dos frutos de mamoeiro irrigado com água residuária doméstica tratada, constatando a ausência de *Salmonella sp.* e Coliformes Totais nos frutos, atestando sua qualidade microbiológica como exigem os padrões para o comércio e consumo dos frutos *in natura*.

Na percepção de Santana *et al.* (2017) a oferta de macronutrientes, sobretudo o nitrogênio, fósforo e o potássio, é essencial para que as plantas tenham um bom desenvolvimento, assim, uma fonte desses nutrientes em potencial é a água residuária, sendo evidenciado em vários estudos a associação entre a irrigação com água residuária e o crescimento da atividade dos microrganismos no solo. Ao avaliar o crescimento de feijão Caupi irrigado com água residuária doméstica tratada, Rebouças *et al.* (2010) evidenciaram um crescimento proporcional da cultura de acordo com o aumento do volume de água residuária aplicada na irrigação, concluindo que, na falta de fertilizantes mineralizados, o solo tem a capacidade de absorver os nutrientes necessários para as plantas pela água residuária doméstica tratada via irrigação.

Entre as vantagens de utilizar água residuária na irrigação agrícola, Souza *et al.* (2010) destacaram a capacidade de conservar e reciclar nutrientes presentes na água residuária, dispondo maior fertilidade ao solo, e assim, promovendo ganhos significativos no crescimento e desenvolvimento das culturas. Corroborando com essa afirmação, Oliveira *et al.* (2013) em pesquisa com Moranga irrigada com esgoto doméstico tratado, concluíram que houve ganhos substanciais na produtividade da cultura atribuída ao uso de água residuária na irrigação.

A melhoria na fertilidade do solo com a aplicação de água residuária na irrigação também foi constatada por Nascimento e Fideles Filho (2015) ao verificar aumento nas concentrações de fósforo, potássio e matéria orgânica na superfície do solo irrigado com água residuária ao analisar crescimento e produção do algodoeiro e alterações químicas do solo irrigado com água residuária doméstica tratada, o que promoveu, neste estudo, maior aporte de nutrientes as plantas e conseqüentemente, maior produtividade da cultura.

## 2.4 Efeito da adubação com NPK sobre as plantas

Grande parte das terras agricultáveis no Brasil está em algum estado de degradação em detrimento do manejo inadequado dos fertilizantes, ou até mesmo, a falta de fertilizantes, sobretudo, os nitrogenados (GALINDO *et al.*, 2018). A maioria dos ecossistemas, principalmente o agrícola, demonstra ganhos muito significantes na produtividade das culturas quando fertilizadas com o nitrogênio inorgânico, dada a importância desse nutriente (TAIZ; ZEIGER, 2013). O nitrogênio (N) constitui vários compostos nos tecidos vegetais, em destaque, os aminoácidos, ácidos nucleicos e clorofila, o que faz do N o nutriente requerido em maior quantidade pelas plantas (NOVAIS *et al.*, 2007).

Após ser assimilado pelas plantas, o nitrogênio se associa as cadeias de carbono, essa associação promove o aumento relevante dos componentes das células dos vegetais, que, em consequência, maximizam a produção de matéria fresca e seca das culturas (GALINDO *et al.*, 2018). Do contrario, a deficiência do N ocasiona redução na taxa de crescimento das plantas, perda prematura das folhas, raízes pouco ramificadas e baixa produtividade (SOUZA; CHAVES; ALVES 2016).

O potássio (K) é o segundo nutriente mais exigido em quantidade pelas plantas, ficando atrás do nitrogênio (N) que, ao contrario deste, o K não está disponível em fontes renováveis, portanto, sua disponibilidade é dependente das reservas do solo e do fornecimento de fertilizantes (RESENDE *et al.*, 2006). De acordo com Novais et al. (2007) em geral, os solos do Brasil tem uma reserva pequena de K, geralmente inferior a  $\text{mg L}^{-1}$ , justificando a necessidade de sua reposição pela fase sólida. O K atua, entre outras funções, na atividade enzimática, regula a abertura e fechamento dos estômatos e no controle osmótico das células vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2013). Portanto, o solo deficiente em K ocorrerá em deficiência nas plantas, comprometendo sua produtividade e também a qualidade dos seus grãos (SERAFIM *et al.*, 2012).

O fósforo é um nutriente essencial para o desenvolvimento dos vegetais, pois participa de maneira direta da formação do sistema radicular das plantas, da floração, da formação dos grãos e da produção de óleo (SILVA *et al.*, 2018). Nesse sentido, Caldas *et al.* (2018) evidenciaram que há um aumento de produtividade nas culturas fertirrigadas com fósforo, e que o aumento parcial da aplicação desse nutriente tende a otimizar sua absorção pelas plantas. Ainda segundo os autores, o fósforo tem importância vital para o metabolismo dos vegetais, pois está presente nos processos de fotossíntese e por consequência na geração de energia e massa.

Cimó *et al.* (2018) recomendam que na produção de mudas se utilize de substratos ricos em fósforo (P), isso porque na maioria dos solos cultivados no Brasil, é observado elevada acidez e pouca disponibilidade natural de nutrientes para as plantas, e o fósforo está entre os principais (FREITAS *et al.*, 2017).

Carneiro *et al.*, (2017) enfatizam que os solos do Brasil em geral são deficientes em fósforo, o que indica a necessidade de adubar o solo com esse nutriente, porque a deficiência de fósforo no solo prejudica o bom desenvolvimento do sistema radicular das plantas, reduz a taxa de crescimento e limita a produtividade da cultura, sendo assim, a aplicação de forma eficiente, faz com que o fósforo potencialize a capacidade das plantas em aumentar o seu rendimento e melhorar sua produtividade, contribuindo para a sustentabilidade do cultivo.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1. Localização da área experimental**

O experimento foi conduzido entre julho e novembro de 2019 em casa de vegetação (Figura 1) pertencente à Estação Experimental do Instituto Nacional do Semiárido – INSA, na Unidade de Pesquisa do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação – MCTI, situado em Campina Grande - PB. A área experimental está localizada sob as coordenadas geográficas (7,22°S; 35,88°O ), com altitude média de 470 m, e situa-se na área geográfica de abrangência do semiárido brasileiro em uma zona de transição climática peculiar do município de Campina Grande-PB. O tipo de clima da região é Aw'i, de acordo com a classificação climática de Köppen sendo considerado quente e úmido, com temperatura máxima anual de 28,7 °C e a mínima de 19,8 °C, variando pouco ao longo do ano.

**Figura 1** – Casa de vegetação da Estação Experimental do Instituto Nacional do Semiárido – INSA, situado em Campina Grande-PB.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

### 3.2. Caracterização do solo e da água utilizada no experimento

Foram coletadas amostras do solo utilizado para o experimento e submetidos a análises no Laboratório do Setor de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba – UFPB, para determinações das características físicas, químicas e de fertilidade, conforme demonstrado nas tabelas 1 e 2.

**Tabela 1** - Parâmetros físicos do solo antes da implantação do experimento

Areia (gkg <sup>-1</sup> )	Silte (gkg <sup>-1</sup> )	Argila (gkg <sup>-1</sup> )	Argila dispersa (gkg <sup>-1</sup> )	Grau de flocculação (kgdm <sup>3</sup> )	Densidade do solo (gcm <sup>3</sup> )	Densidade de partícula (gcm <sup>3</sup> )	Porosidade total (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )	Umidade 0,01 – 0,03 – 1,50 Mpa (gkg <sup>-1</sup> )
821	108	72	38	472	1,55	2,61	0,41	83 – 56 - 33

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

**Tabela 2** - Parâmetros químicos e fertilidade do solo antes da implantação do experimento

pH H <sub>2</sub> O (1:2,5)	P (mg dm <sup>3</sup> )	S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> (mg dm <sup>3</sup> )	K <sup>+</sup> (mg dm <sup>3</sup> )	Na <sup>+</sup> (cmolc dm <sup>3</sup> )	H <sup>+</sup> + AL <sup>3+</sup> (cmolc dm <sup>3</sup> )	AL <sup>3+</sup> (cmolc dm <sup>3</sup> )	Ca <sup>2+</sup> (cmolc dm <sup>3</sup> )	Mg <sup>2+</sup> (cmolc dm <sup>3</sup> )	SB (cmolc dm <sup>3</sup> )	CTC (cmolc dm <sup>3</sup> )	M.O. (gkg <sup>-1</sup> )
5,4	14,16	-	139,90	0,06	2,79	0,00	2,48	1,33	4,22	7,01	13,45

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

A caracterização do solo usado no experimento é do tipo planossolo háplico, que de acordo com a EMBRAPA (2018) é um tipo de solo que se desenvolve em planícies ou depressões, com textura leve variando de areia a areia franca.

O solo utilizado no experimento apresentou um teor de fósforo (P) de 14,16 mg dm<sup>-3</sup> de acordo com a análise química apresentada pelo Método de Mehlich. Com o intuito de elevar esse nível para 35,16 mg dm<sup>-3</sup> de P no solo, foi aplicado em cada vaso a dosagem de 7,9 gkg<sup>-1</sup> de fósforo por meio da fertirrigação utilizando o fosfato de monoamônico (MAP) Purificado (Dripsol®) comprado no comércio local, em que apresenta uma garantia mínima, pela legislação brasileira de fertilizantes, de 61% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (ALVAREZ *et al.*, 1999).

Amostras da água de abastecimento e da água residuária tratada utilizadas na irrigação foram encaminhadas ao laboratório, sendo determinados pH, Condutividade Elétrica, Cálcio, Magnésio, Sódio, Potássio, Carbonatos, Bicarbonatos, Cloretos, presença ou ausência de Sulfatos, Relação de Adsorção de Sódio e Classificação da Água, no laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. As análises de Nitrato, Nitrito, Fósforo, Demanda Química de Oxigênio e Demanda Bioquímica de Oxigênio foram realizadas no Laboratório de dessalinização (LABDES) do Centro de Testes de Tecnologias de Dessalinização de água – CTTD da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG conforme Tabela 3.

**Tabela 3** - Análise química das águas utilizadas no experimento

<b>Parâmetros</b>	<b>Água de Abastecimento do INSA</b>	<b>Água Residuária Tratada do INSA</b>	<b>Água Residuária Tratada do EXTRABES</b>
pH	7,42	7,60	7,42
Condutividade Elétrica (µS. Cm <sup>-1</sup> )	318	1.093	1.544
Cálcio (meq L <sup>-1</sup> )	0,80	0,92	0,79
Magnésio (meq L <sup>-1</sup> )	1,39	1,08	2,42
Sódio (meq L <sup>-1</sup> )	0,72	2,40	4,52
Nitrato [N-NO <sub>3</sub> -] (mg L <sup>-1</sup> )	0,35	2,24	1,1
Nitrito [N-NO <sub>2</sub> -] (mg L <sup>-1</sup> )	0,015	0,081	0,056
Fósforo Total (mg L <sup>-1</sup> )	0,8	17,5	12,87
Potássio (meq L <sup>-1</sup> )	0,11	0,59	0,69
Carbonatos (meq L <sup>-1</sup> )	0,00	0,40	0,00
Bicarbonatos (meq L <sup>-1</sup> )	1,14	5,80	9,15
Cloretos (meq L <sup>-1</sup> )	1,07	2,50	3,75
Sulfatos (meq L <sup>-1</sup> )	Ausência	Presença	Presença
Relação de Adsorção de Sódio (RAS)	0,69	2,40	3,57
Classe de Água	C2	C3	C3
DQO (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	7,35	209,56	194,5
DBO <sub>5</sub> (mg de O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	5,60	102,05	79,92

Fonte: Dados da Pesquisa (2020)

As coletas de água residuária foram realizadas em dois ambientes, sendo o primeiro, utilizado apenas nos primeiros 30 dias após o início dos tratamentos, foi captado na Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários - EXTRABES que é o núcleo de pesquisas da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG em parceria com a Universidade Estadual da Paraíba - UEPB e, com a Companhia de Água e Esgoto do Estado da Paraíba – CAGEPA em Campina Grande – PB. O efluente utilizado foi originário de um edifício residencial localizado ao lado do EXTRABES e foi tratado por um biorreator anaeróbio de membrana dinâmica com o tempo de detenção hidráulica de 18 horas. O digestor tem um volume de 54 litros, e trata por dia 72 litros de água residuária. O segundo ambiente de coleta da água residuária, utilizada no experimento a partir de 31 dias após o início dos tratamentos até sua fase final, foi na Estação de Tratamento da sede administrativa do Instituto Nacional do Semiárido – INSA/MCTI em Campina Grande - PB, essa água foi tratada por meio de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo (UASB), a partir do efluente oriundo da sede administrativa do Instituto Nacional do Semiárido – INSA.

A água de abastecimento utilizada como testemunha durante o experimento foi captada da estação experimental do Instituto Nacional do Semiárido – INSA/MCTI em Campina Grande – PB.

**Figura 2** – Sistema de tratamento da água residuária na Estação Experimental do Instituto Nacional do Semiárido – INSA, situado em Campina Grande-PB.

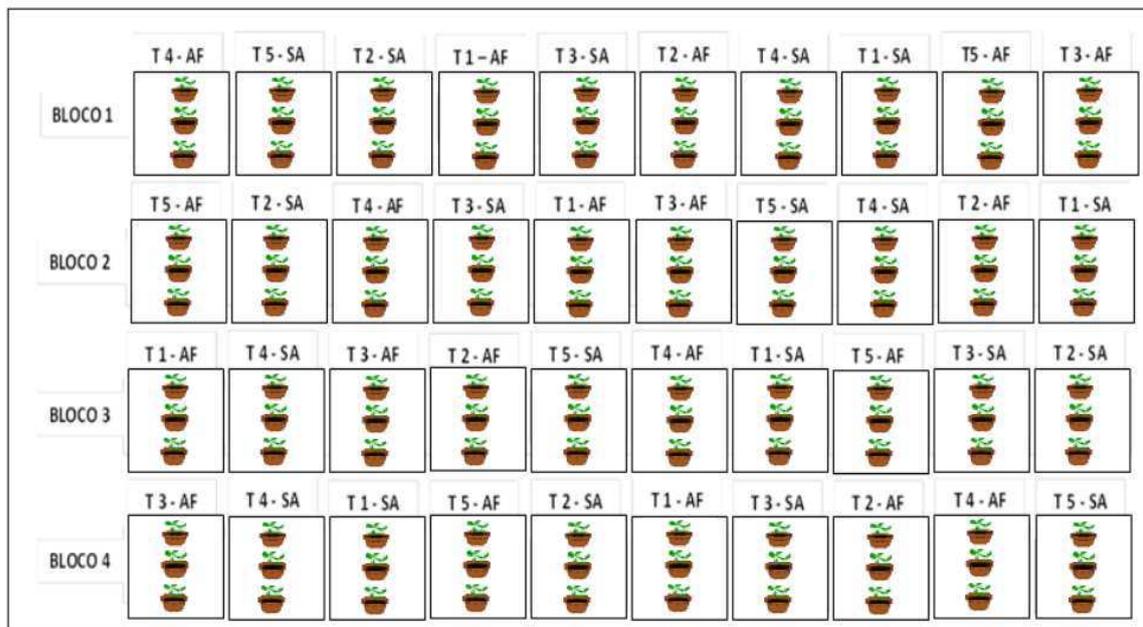


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

### 3.3. Delineamento experimental, tratamentos e sistema de plantio

O delineamento estatístico adotado foi em blocos ao acaso com quatro repetições. Os fatores em estudo foram arranjados em esquema fatorial 5 x 2 onde os tratamentos foram compostos pela combinação de dois fatores, fator 1: cinco concentração de água residuária diluídos em água de abastecimento para a irrigação da Moringa (T1 – 100% de água residuária e 0% de água de abastecimento; T2 – 75% de água residuária em 25% de água de abastecimento; T3 – 50% de água residuária em 50% de água de abastecimento; T4 – 25% de água residuária em 75% de água de abastecimento; e T5 – 0% de água residuária e 100% de água de abastecimento). Fator 2: dois manejos de adubação (AF – adubação fosfatada e SA – sem adubação fosfatada), conforme exposto na figura 3.

Figura 3- Croqui do experimento.



T = tratamento / SA = sem adubação / AF = adubação fosfatada

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os 10 tratamentos foram dispostos em 40 parcelas experimentais divididas em 4 blocos, sendo que cada parcela experimental foi composta por 3 vasos, cada vaso com 2 plantas, totalizando 120 vasos, ou unidades experimentais, com um total de 240 plantas. O espaçamento entre linhas foi de 0,8 m e o espaçamento entre plantas de 0,4m.

Os vasos tinham um formato cilíndrico, com altura de 34 cm, e diâmetro de 29 cm, com um orifício em sua parte inferior acoplado a uma conexão tipo “joelho” com diâmetro de 20 mm para viabilizar a drenagem e, na outra extremidade da conexão foi conectado uma garrafa pet com capacidade de 2L para acumular a água drenada de cada vaso, conforme exposto na figura 4. Para diminuir a perda de solo junto à água drenada, a extremidade da conexão acoplada

ao vaso foi revestida com tela fibra de vidro com malha 18 x 16 Fio 30. Os vasos foram preenchidos inicialmente por uma porção de brita (equivalente a 3,4 kg) para favorecer a drenagem e posteriormente com (20 kg) de solo seco e peneirado em cada vaso.

**Figura 4** - Preparação dos vasos para o cultivo das plantas.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

As sementes foram coletadas em árvores matrizes originadas do Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) campus Pombal-PB. O sistema de plantio adotado foi por semeadura direta. Foram semeadas quatro sementes em cada vaso, passados oito dias após a germinação, foram selecionadas duas plantas mais bem desenvolvidas para o andamento do estudo, sendo descartadas as demais.

### 3.4 Características do manejo da irrigação

As irrigações foram realizadas três vezes por semana de forma manual, utilizando um recipiente graduado para medir a quantidade de água aplicada em cada vaso, sempre no final da tarde, de forma a aplicar água apenas no solo. O volume de água drenado foi coletado na manhã do dia seguinte. Pela diferença entre o volume de água aplicado e drenado, estimou-se a evapotranspiração da cultura (consumo), determinado diariamente. Assim, o volume de água aplicado foi calculado com base no consumo do dia anterior. A fim de se obterem frações de lixiviação de 0,15 e 0,20, respectivamente, para cada etapa do ciclo da cultura, seguiu-se a equação 1 conforme (RHOADES 1974).

$$VI = \frac{VA - VD}{1 - FL}$$

Eq. 2

Em que: VI - Volume de água a ser aplicada na irrigação (mL); VA - Volume de água aplicado na irrigação anterior ou no período (mL); VD - Volume de água drenada na irrigação anterior ou no período (mL); FL - Fração de lixiviação (0,15 e 0,2).

O volume de água aplicado na irrigação teve como base as frações de lixiviação. De acordo com os tratamentos referente à concentração de água residuária, a lâmina d'água foi determinada em cada proporção conforme tabela 4.

**Tabela 4** - Aporte de água na irrigação por tratamento.

Aporte de água por tratamento	Até os 30 DAIT	Até os 60 DAIT	Até os 90 DAIT	Até os 110 DAIT
T1 = 100% (ART)	3,2 L - ART + 0 L - AA	12 L - ART + 0 L - AA	29,8 L - ART + 0 L - AA	45,8 L - ART + 0 L - AA
T2 = 75% (ART) + 25% (AA)	2,4 L - ART + 0,8 L - AA	9 L - ART + 3 L - AA	22,4 L - ART + 7,4 L - AA	34,4 L - ART + 11,4 L - AA
T3 = 50% (ART) + 50% (AA)	1,6 L - ART + 1,6 L - AA	6 L - ART + 6 L - AA	14,9 L - ART + 14,9 L - AA	22,9 L - ART + 22,9 L - AA
T4 = 25% (ART) + 75% (AA)	0,8 L - ART + 2,4 L - AA	3 L - ART + 9 L - AA	7,4 L - ART + 22,4 L - AA	11,4 L - ART + 34,4 L - AA
T5 = 100% (AA)	0 L - ART + 3,2 L - AA	0 L - ART + 12 L - AA	0 L - ART + 29,8 L - AA	0 L - ART + 45,8 L - AA

T – Tratamento; L – Litros; DAIT – Dias Após Início dos Tratamentos; ART – Água Residuária Tratada; AA – Água de abastecimento.  
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

### 3.5. Aporte de Fósforo, Potássio, Nitrito e Nitrato no solo pelas águas de irrigação.

No início da germinação das plantas foi aplicado em cada vaso a dosagem de 7,9 gkg<sup>-1</sup> de fósforo por meio da fertirrigação, utilizando o fosfato de monoamônico (MAP) Purificado (Dripsol®) na parcela reservada ao tratamento com adubação.

A lâmina de irrigação variou com o decorrer do experimento devido ao aumento da necessidade hídrica das plantas, porém, manteve-se o mesmo volume de água aplicado para cada tratamento em todo o período do experimento.

O aporte dos nutrientes na água de irrigação foi calculado conforme equações, 2, 3, 4, 5 e 6 para os tratamentos correspondentes na mesma ordem, tomando como base o volume de água aplicado e a quantidade de nutrientes presentes nas águas de irrigação obtida da análise de laboratório verificada em mgL<sup>-1</sup> para fósforo, nitrito e nitrato. Já o teor de potássio foi calculado para meqL<sup>-1</sup>.

$$T1 = \text{Aporte do nutriente} = Vap * QNAR \quad \text{Eq. 2}$$

$$T2 = \text{Aporte do nutriente} = Vap * ((0,75 * QNAR) + (0,25 * QNAA)) \quad \text{Eq. 3}$$

$$T3 = \text{Aporte do nutriente} = Vap * ((0,50 * QNAR) + (0,50 * QNAA)) \quad \text{Eq. 4}$$

$$T4 = \text{Aporte do nutriente} = Vap * ((0,25 * QNAR) + (0,75 * QNAA)) \quad \text{Eq. 5}$$

$$T5 = \text{Aporte do nutriente} = Vap * QNAA \quad \text{Eq. 6}$$

Em que: T = Tratamento; Vap = Volume de água aplicado; QNAR = Quantidade de nutrientes na água residuária; QNAA = Quantidade de nutrientes na água de abastecimento.

### 3.6. Variáveis analisadas

Durante o crescimento e desenvolvimento da *Moringa* foram avaliados a cada 15 dias após o início dos tratamentos, os seguintes aspectos morfológicos da planta, diâmetro do caule (DC) sendo mensurado com paquímetro digital a uma altura de 2 cm da base das plantas; altura da planta (AP) sendo, medida com o auxílio de fita métrica da base ao ápice da última folha; e número de folhas (NF) sendo por contagem direta em cada planta. Com base nas medições da altura das plantas, foram avaliadas a taxa de crescimento absoluto e relativo em altura das plantas.

Foi realizada aos 90 DAIT a avaliação dos pigmentos fotossintéticos, coletando amostras de folhas em bom estado fitossanitária localizada na terceira folha abaixo do ápice da planta, no período de 07 h 00 min às 07hs e 40 min da manhã, sendo em seguida, levada ao Laboratório de Análise Vegetal da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, para análise de Clorofila A, Clorofila B, Total e Carotenoides, conforme metodologia proposta por (WITHAM; BLAYDES; DEVLIN. 1971).

A parte aérea das plantas foi avaliada quanto ao peso ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em balança de precisão, correspondente a sua matéria fresca (biomassa) e matéria seca (fitomassa) após secagem em estufa de circulação forçada de ar a  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  até o peso constante, sendo as variáveis biomassa e fitomassa avaliadas aos 30, 60, 90 e 110 dias após o início dos tratamentos (DAIT) com o corte realizado no limite da superfície do solo, procedendo com a coleta de 1 planta de cada um dos três vasos por parcela aos 30 DAIT; aos 60 DAIT foi retirada 1 planta de cada um dos vasos da primeira fileira de cada bloco; aos 90 DAIT retirou-se mais uma planta de cada um dos vasos da segunda fileira de cada bloco; e por fim, aos 110 DAIT retirou-se mais uma planta de cada um dos vasos da terceira e última fileira de cada bloco.

Determinou-se a taxa de crescimento absoluto em altura, massa fresca e seca que indica a variação ou incremento do crescimento entre duas amostragens sucessivas da cultura ao longo do ciclo, conforme a Equação 7.

$$TCA = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \quad (7)$$

Em que:

TCA - Taxa de crescimento absoluto, em  $\text{g dia}^{-1}$ ;

P - Peso de biomassa seca, em g;

T - Tempo, em dia;

1 e 2 - Amostras sucessivas.

O acréscimo de altura, massa fresca e seca em determinado intervalo de tempo por unidade de peso inicial, representa a taxa de crescimento relativo, obtido através da Equação 8.

$$TCR = \frac{\ln P_2 - \ln P_1}{T_2 - T_1} \quad (8)$$

Em que:

TCR - Taxa de crescimento relativo, em  $g \ g^{-1} \ dia^{-1}$ ;

Ln - logaritmo neperiano;

P - Peso de biomassa seca, em g;

T - Tempo, em dia;

1 e 2 - Amostras sucessivas.

As raízes das últimas plantas coletadas foram retiradas, lavadas em água corrente e enxutas para logo em seguida, serem utilizadas para quantificar o peso ( $g \ kg^{-1}$ ) de sua matéria fresca em balança de precisão. Após estabelecer a matéria fresca, as raízes foram postas em estufa de circulação forçada de ar a  $65 \ ^\circ C$  até adquirir seu peso constante para em seguida quantificar o peso ( $g \ kg^{-1}$ ) de sua matéria seca em balança de precisão. Tomando como base a matéria fresca e seca da parte aérea e a matéria fresca e seca das raízes das plantas, foi estabelecida a relação raiz / parte aérea das plantas em função dos tratamentos realizados.

Finalizando o experimento, as folhas das últimas plantas coletadas foram, após a secagem, moídas em moinho do tipo Willey, alocadas em sacos plásticos com vedação e identificadas para os diferentes tratamentos e posteriormente encaminhadas para realização das análises químicas foliar, no laboratório de análises químicas do campus II da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) para determinação da concentração dos seguintes macronutrientes: nitrogênio, fósforo total e potássio, seguindo a metodologia sugerida por Tedesco *et al.* (1995) e Miyazawa *et al.* (1999), onde os teores de nitrogênio são determinados pelo método Kjeldahl, o teor de fósforo total por espectrometria visível, e o teor de potássio por fotometria de chama.

Após a coleta das últimas plantas, foi retirada uma amostra de solo de cada um dos vasos correspondentes as últimas 40 plantas coletadas, peneirado numa peneira com malha de 2 mm, posto a secagem ao ar ambiente e, devidamente identificado com os tratamentos correspondentes, foi encaminhado ao Laboratório do Setor de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Engenharia Rural do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Paraíba – UFPB para análise dos atributos químicos do solo (pH, CE, Ca, Mg, Na, P, K, Soma de bases, Al, H, Sulfato, CTC e MO).

**Figura 5** – Análises de crescimento das plantas.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

### 3.7 Análises Estatísticas

As variáveis foram analisadas estatisticamente pelo teste F desdobrando-se as análises sempre que a interação fosse significativa. Os fatores quantitativos relativos à proporção de água residuária foram analisados estatisticamente por meio de regressão polinomial (linear e quadrática), o fator adubação fosfatada e tempo em dias, quando significativos, realizou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade com auxílio do programa computacional Sisvar (FERREIRA 2014).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O aporte de fósforo, potássio, nitrato e nitrito acumulados por meio da irrigação com água de abastecimento e com água residuária doméstica tratada, encontram-se respectivamente nas Tabelas 6, 7, 8 e 9, aos 30, 60, 90 e 110 dias após o início dos tratamentos (DAIT). Com base na análise química das águas utilizadas na irrigação (Tabela 4) e no volume de água aplicado no decorrer do ciclo (Tabela 5) foi possível calcular o aporte de fósforo, potássio, nitrato e nitrito, acumulado no decorrer do ciclo, por meio das águas utilizadas na irrigação aos 30, 60, 90 e 110 dias após o início dos tratamentos, através da equação 9.

$$\text{Quantidade de nutriente acumulado nas águas} = Qna * Vap \quad \text{Eq. 9}$$

Em que:

$Qna$  = Quantidade de nutrientes (mg / meq) nas águas ( $L^{-1}$ );

$Vap$  = Volume de água aplicado ( $L^{-1}$ ).

Observa-se na tabela 5 que o maior acúmulo de fósforo, potássio, nitrato e nitrito encontram-se no tratamento T1 (100% de água residuária) sem adubação fosfatada e, se acumula ao final dos 110 dias após o início dos tratamentos, chegando ao acúmulo máximo de 787,55 mgL<sup>-1</sup> de fósforo; 27,36 meqL<sup>-1</sup> de potássio; 99,05 mgL<sup>-1</sup> de nitrito e, 3,585 mgL<sup>-1</sup> de nitrato, respectivamente. Esses valores são significativamente superiores aos encontrados por Xavier *et al.* (2019) com água residuária doméstica após o tratamento com reatores UASB. Já nos estudos publicados por Urbano (2013), também com o uso de reator UASB no tratamento da água residuária doméstica, os valores para potássio e nitrato foram superiores aos encontrados no presente estudo, o que demonstra a variabilidade de nutrientes que pode estar presentes na água residuária, a depender de sua origem.

**Tabela 5** - Acumulado de fósforo (mgL<sup>-1</sup>), potássio (meqL<sup>-1</sup>), nitrato (mgL<sup>-1</sup>) e nitrito (mgL<sup>-1</sup>) ofertado na irrigação aos 30, 60, 90 e 110 DAIT para cada tratamento aplicado sem adubação fosfatada.

Até os 30 DAIT	Até os 60 DAIT	Até os 90 DAIT	Até os 110 DAIT
<b>Fósforo (mg L<sup>-1</sup>)</b>			
T1 – S A = 41,18	T1 – S A = 195,18	T1 – S A = 507,55	T1 – S A = 787,55
T2 – S A = 31,52	T2 – S A = 148,78	T2 – S A = 386,63	T2 – S A = 599,83
T3 – S A = 21,87	T3 – S A = 102,39	T3 – S A = 265,71	T3 – S A = 412,11
T4 – S A = 12,21	T4 – S A = 55,99	T4 – S A = 144,79	T4 – S A = 224,39
T5 – S A = 2,56	T5 – S A = 9,60	T5 – S A = 23,88	T5 – S A = 36,68
<b>Potássio (meq L<sup>-1</sup>)</b>			
T1 – S A = 2,20	T1 – S A = 7,39	T1 – S A = 17,92	T1 – S A = 27,36
T2 – S A = 1,73	T2 – S A = 5,87	T2 – S A = 14,26	T2 – S A = 21,78
T3 – S A = 1,27	T3 – S A = 4,35	T3 – S A = 10,60	T3 – S A = 16,02
T4 – S A = 0,81	T4 – S A = 2,83	T4 – S A = 6,94	T4 – S A = 10,62
T5 – S A = 0,35	T5 – S A = 1,32	T5 – S A = 3,28	T5 – S A = 5,04
<b>Nitrato (mg L<sup>-1</sup>)</b>			
T1 – S A = 3,52	T1 – S A = 23,23	T1 – S A = 63,21	T1 – S A = 99,05
T2 – S A = 2,92	T2 – S A = 18,47	T2 – S A = 50,01	T2 – S A = 78,29
T3 – S A = 2,32	T3 – S A = 13,71	T3 – S A = 36,82	T3 – S A = 57,54
T4 – S A = 1,72	T4 – S A = 8,95	T4 – S A = 23,63	T4 – S A = 36,79
T5 – S A = 1,12	T5 – S A = 4,2	T5 – S A = 10,44	T5 – S A = 16,04
<b>Nitrito (mg L<sup>-1</sup>)</b>			
T1 – S A = 0,179	T1 – S A = 0,844	T1 – S A = 2,289	T1 – S A = 3,585
T2 – S A = 0,146	T2 – S A = 0,678	T2 – S A = 1,828	T2 – S A = 2,860
T3 – S A = 0,113	T3 – S A = 0,512	T3 – S A = 1,368	T3 – S A = 2,136
T4 – S A = 0,080	T4 – S A = 0,346	T4 – S A = 0,907	T4 – S A = 1,411
T5 – S A = 0,048	T5 – S A = 0,18	T5 – S A = 0,447	T5 – S A = 0,687

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os minerais N, P e K são essenciais às plantas, uma vez que favorecem o bom desenvolvimento da cultura. O fósforo (P) exerce uma função primordial no metabolismo das plantas por ser um macronutriente de presença marcante na síntese e na transferência de energia, e ainda compõe os ácidos nucléicos e outras coenzimas (GRANT *et al.*, 2001), sendo este um dos elementos que mais influência no desenvolvimento dos vegetais e sua carência está

relacionada a sua forma de absorção nas partículas do solo, o que faz elevar sua demanda para suprir as necessidades das plantas (MELO *et al.*, 2014).

Os valores de potássio (K) encontrado no tratamento T1 é muito significativo para as culturas, visto que é um macronutriente que exerce funções vitais para o crescimento e desenvolvimento dos vegetais realizando funções de regulação estomáca, no transporte de fotoassimilados e na atividade enzimática (FIGUEIREDO *et al.*, 2008) também contribui em vários processos fisiológicos e equilíbrio na relação cátion e ânions além de interagir positivamente com o nitrogênio (FERREIRA *et al.*, 2019). Avaliando a produção de matéria seca da Moringa sob omissão de macronutrientes, Vieira, Chaves e Viégas (2008) notaram um acúmulo de 7,04 gkg<sup>-1</sup> de potássio na matéria seca foliar da Moringa sob omissão de K durante o cultivo, enquanto que, as plantas de Moringa cultivadas com nutrição plena, o teor de potássio na matéria seca foliar foi de 23,48 gkg<sup>-1</sup>.

O Nitrogênio (N) é um macronutriente oferecido às plantas em grande quantidade para suprir as necessidades das culturas, dado ao fato de que este nutriente participa da formação dos aminoácidos, das proteínas, da função estrutural e da transferência de energia e ainda está presente nos processos de respiração, fotossíntese, diferenciação e multiplicação celular (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Contudo, este elemento tem uma dinâmica muito complexa que dificulta o seu manejo, pois suas respostas dependem de uma série de variações e condições edafoclimáticas, incluindo a qualidade do solo, a origem de sua fonte e ainda suas técnicas de manejo (LINS *et al.*, 2017).

O acúmulo de N, P e K demonstrado na tabela 6, sugere a importância da água residuária para a irrigação no cultivo da Moringa. Estudos dirigidos por Vieira, Chaves e Viégas (2008) evidenciaram que a Moringa acumulou nas diversas partes da planta e em maior proporção os nutrientes N, K e P respectivamente, destacando que na área foliar, foram encontradas elevadas concentrações desses elementos quando comparadas com a média encontrada na área foliar de boa parte das culturas vegetais. Esses resultados reforçam ainda mais a importância de se estudar o aporte nutricional da água residuária tratada no solo, que pode contribuir de forma significativa para os incrementos nos rendimentos agrícolas das plantas, em especial, da Moringa.

Para Souza *et al.* (2010) a utilização da água residuária tratada aplicada via irrigação do girassol propiciou maior aporte de nutrientes as plantas, principalmente o nitrogênio (N) encontrado na água residuária, verificando efeito significativo para diâmetro do caule de 35,6 e 51,5%, altura das plantas com 14,1 e 31,2%, e número de folhas com um aumento de 2 e 4 folhas, respectivamente aos 14 e 28 dias após o transplante (DAT).

#### 4.1. Componentes de crescimento

O resumo da análise de variância para altura de plantas (AP), diâmetro do caule (DC), e número de folhas (NF) em função da proporção de água residuária, adubação fosfatada e tempo encontram-se na tabela 6. Houve efeito significativo ao nível de 1 e 5% de probabilidade para AP, DC e NF, respectivamente, para os fatores proporção de água residuária e adubação fosfatada. Por sua vez, houve interação da água residuária (AR) com a adubação fosfata (AF) para as variáveis AP, DC e NF. Já para a interação água residuária x adubação fosfata x tempo (T) observou-se efeito significativo para o diâmetro de caule (Tabela 6).

**Tabela 6** - Quadrado médio para altura de plantas, diâmetro de caule e número de folhas em função dos tratamentos e tempo em dias após o início dos tratamentos.

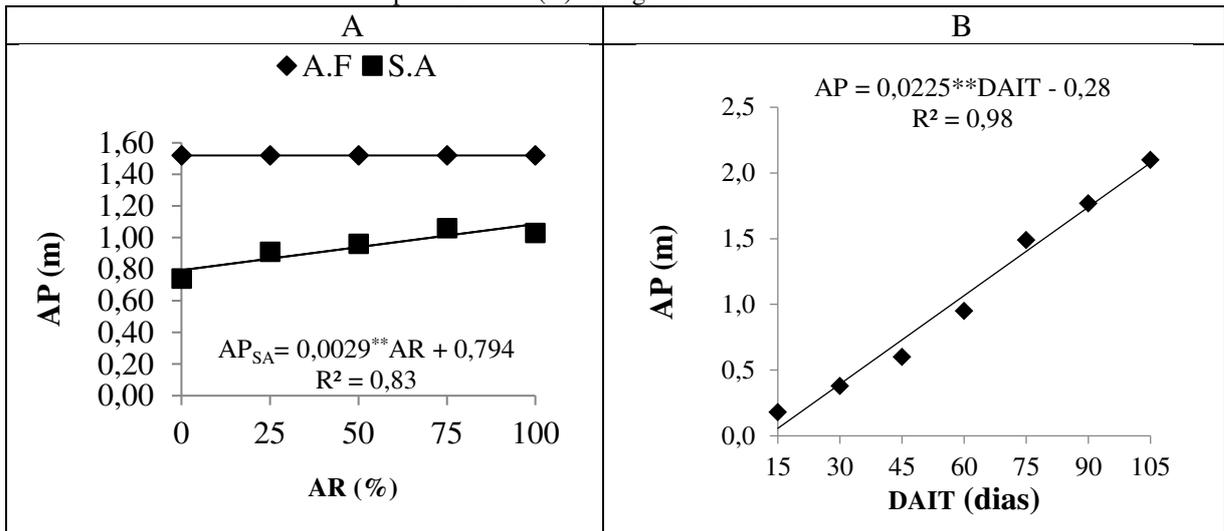
Fonte de Variação	GL	Quadrado médio		
		AP (m)	DC (mm)	NF
Água Residuária (AR)	4	0,29**	17,64**	16,51*
Reg. Linear	1	1,07**	54,93**	20,82*
Reg. Quadrática	1	0,04 <sup>ns</sup>	13,94**	36,86**
Adubação Fosfatada (AF)	1	4,42**	706,40**	22,85*
Tempo (T)	6	21,54**	1743,89**	410,70**
Reg. Linear	1	127,05**	10394,71**	2016,97**
Reg. Quadrática	1	0,86**	22,66**	10,40 <sup>ns</sup>
AR *AF	4	0,18**	26,28**	12,86*
AR*AF* T	24	0,02 <sup>ns</sup>	3,91**	3,57 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,03	1,08	14,18
Resíduo	237	0,03	2,06	5,03
CV%	-	16,83	10,63	18,67
Média Geral	-	1,07 m	13,5 mm	12,01

<sup>ns</sup>Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste F; \*, \*\* Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A altura de plantas em função da interação entre os fatores foi significativa a 1% sendo que, o modelo que melhor se ajustou foi o linear. Nota-se que à medida que aumentou a proporção de água residuária no tratamento SA (sem adubação fosfatada) elevou-se a altura de plantas, sendo que na proporção de 100% de AR obteve-se uma altura de plantas de 1,084 m (Figura 6A). Para a interação AR x AF (com adubação fosfatada) não houve efeito significativo, porém, resultou em uma altura de plantas de 1,52 m, superior ao tratamento SA. Esse fato se justifica em função do fósforo influenciar na produção de energia para a planta que se reflete em crescimento da planta em altura.

**Figura 6** - Desdobramento da interação AR x AF para altura de plantas (A) e de fator isolado tempo para altura de plantas – AP (B) ao logo do ciclo de cultivo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Considerando o que afirmam Cardoso *et al.* (2015), o crescimento dos vegetais está diretamente relacionado com a maior oferta na taxa de fósforo assimilável pelas plantas, isso porque, esse mineral participa da divisão celular e do alargamento das células, além de influenciar na evolução dos tecidos meristemáticos.

O fósforo, na sua forma preponderante de íon fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) após ser absorvido pelas plantas se incorpora aos compostos orgânicos dos vegetais e se transforma em açúcares fosfatados, nucleotídeos e fosfolipídios, convertendo-se em energia nas células dos vegetais ao ser assimilado durante a formação de ATP. De acordo com Malavolta, Vitti e Oliveira (1997) ao se incorporar ao ATP, forma-se um grupo de fosfatos, podendo ser transferidos por meio de várias reações, formando variados compostos fosforilados que se encontram predominantemente nas células dos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2013).

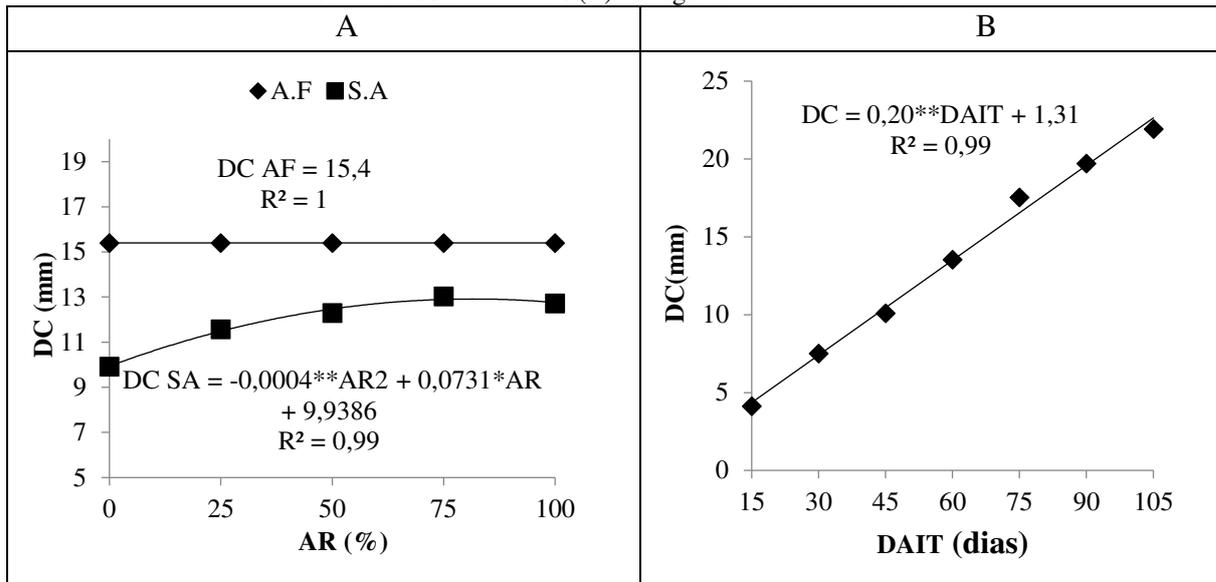
Estudos desenvolvidos por Lima *et al.* (2011) avaliando o crescimento de mudas de Pinhão manso em resposta a adubação fosfatada, mostraram que a dose estimada de  $8,2 \text{ kg m}^{-3}$  de superfosfato simples resultou em um incremento de 33% na altura das plantas, resultado este que, segundo os autores, se deve principalmente ao fósforo, por propiciar a melhora da capacidade fotossintética e de absorção de água e nutrientes que são propriedades de muita importância para a produtividade das mudas. Já Sousa Neto *et al.* (2012) observaram incrementos mais significantes na altura de plantas de algodoeiro fertirrigado com efluente doméstico tratado na concentração de 100%, chegando a valores de 50,48 cm e 74,44 cm, respectivamente aos 50 e 115 dias após o plantio.

No trabalho desenvolvido por Andrade *et al.* (2015) em que foram testados a eficácia da irrigação com água residuária e adubação com esterco em plantas de girassol ornamental, observou-se efeito significativo do incremento de água residuária sobre a altura das plantas quando comparado com a irrigação com água de abastecimento, registrando 57,63 cm aos 48 dias após a semeadura (DAS) e 76,94 cm aos 55 DAS, não encontrando efeito significativo em outros períodos de avaliação. Fato este, que se assemelha ao observado no presente estudo, visto que quando se elevou a proporção de água residuária, em especial quando associada a adubação fosfatada elevou-se a altura das plantas.

Observa-se efeito significativo para a altura de plantas em função dos dias após o início dos tratamentos (DAIT) sendo que o modelo que melhor se ajustou foi o linear com maior altura de plantas obtida aos 105 DAIT correspondendo a uma altura de 2,08 m (Figura 6B). Pereira *et al.*, (2016) estudaram os efeitos de 4 diferentes níveis (0, 50, 100 e 150%) de nutrientes (nitrato de cálcio, nitrato de potássio, fosfato monoamônico e sulfato de magnésio) aplicados via fertirrigação em mudas de Moringa, e verificaram que os maiores valores encontrados para a variável altura de plantas foram obtidos com as maiores doses de nutrientes aplicadas no experimento, chegando a uma altura máxima de 0,27 m, 0,43 m e 0,63 m, respectivamente aos 25, 40 e 55 dias após a semeadura, verificando um aumento médio de 44%, 38% e 28% seguindo a ordem aos 25, 40 e 55 dias após a semeadura. Resultados estes, inferiores aos obtidos no presente estudo, onde pode se verificar uma altura média de 0,96 m aos 50 dias após o início dos tratamentos (Figura 6A), em função do significativo aporte nutricional ofertado pela água residuária.

O diâmetro do caule das plantas de Moringa cresceram segundo um modelo polinomial quadrático onde o maior diâmetro de 13,3 mm foi encontrado com um teor 91,3% de água residuária para a interação AR x SA (sem adubação fosfatada) (Figura 7A). O diâmetro do caule é uma importante variável a se analisar, pois, considerando suas características, esta pode indicar o estado vital das espécies vegetais sem que para isso seja necessário sacrificar a planta (GOMES *et al.*, 2002).

**Figura 7** - Desdobramento da interação AR x AF para diâmetro de caule (A) e em função do tempo em dias após o início dos tratamentos (B) ao logo do ciclo de cultivo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Já o diâmetro do caule para a interação AR x AF não observou-se efeito significativo, com tudo, o diâmetro médio foi de 15,4 mm, mesmo sem efeito significativo, a adubação fosfatada associada a diferentes proporções de água residuária propiciou maior crescimento das plantas em diâmetro, quando comparado ao tratamento SA (Figura 7A).

O fósforo contribui para o desenvolvimento e crescimento das raízes das plantas, que por sua vez, também favorece ao maior diâmetro do caule, resultando em melhor desenvolvimento dos vegetais em seu estágio inicial (ALMEIDA *et al.*, 2017). Ao estudar mudas de Sabiá, Rebouças *et al.* (2018) evidenciaram a importância nutricional do efluente doméstico tratado na irrigação dessa cultura proporcionando incrementos significativos na variável diâmetro de caule, atingindo 5,06 mm com 100% de água residuária aos 120 dias após o plantio. Esses resultados são inferiores aos obtidos no presente estudo, no entanto, este fato está atrelado às diferenças de crescimento observadas entre as espécies abordadas nos dois estudos, contudo, vale ressaltar que o efeito da irrigação com o efluente doméstico tratado, em ambos os trabalhos, foi fundamental para o entendimento da importância de utilizar a água de reuso na agricultura.

Utilizando diferentes doses e granulometrias de cama de frango, Souza *et al.* (2018) avaliaram o crescimento inicial da Moringa aos 105 dias após a semeadura e observaram o melhor desempenho com a dose de 120 g dm<sup>-3</sup> resultando em 21 mm em média no diâmetro do caule, incremento esse que se pode associar ao suprimento nutricional disponibilizado ao solo por meio da adubação. Já Medeiros *et al.* (2017) ao avaliarem o crescimento da Moringa

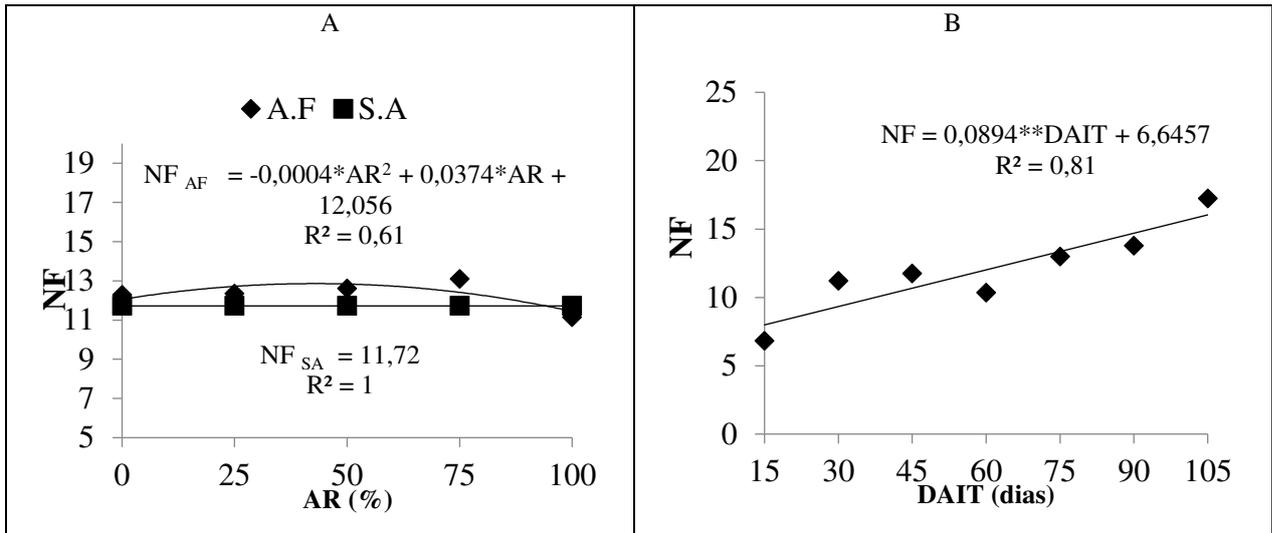
observou que na proporção de 1:1 composto orgânico/solo, o crescimento das plantas em diâmetro de caule alcançou 6,88 mm aos 60 dias após a emergência, o que demonstra a interferência da adubação orgânica sob o crescimento das plantas. Estes resultados são bem inferiores aos observados no presente estudo, visto que, aos 60 dias após início dos tratamentos, obteve-se 13,31 mm de diâmetro de caule, fato que pode ser justificado em decorrência deste trabalho ter tido um aporte elevado de nutrientes, o que pode ter contribuído para os melhores incrementos em diâmetro de caule.

Utilizando água residuária tratada de origem doméstica na irrigação do algodoeiro Sousa Neto *et al.* (2012) encontraram resultados significativos no diâmetro caulinar a partir de 30 dias após o plantio, chegando ao ganho médio de 199,2 mm por planta aos 70 dias após a emergência. Ao avaliar os efeitos da irrigação com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada no crescimento da cultura do girassol Freitas *et al.* (2012) constataram que dentre as águas dos tratamentos realizados, a que melhor resultou para a variável diâmetro do caule foi a irrigação com o efluente doméstico tratado, dado a relevância da presença de nutrientes contidos na água residuária.

Observa-se efeito significativo para o diâmetro do caule em função dos DAIT sendo que a equação que melhor se ajustou foi a linear com maior diâmetro de caule obtido aos 105 DAIT correspondendo a um diâmetro de 22,31 mm (Figura 7B). Pereira *et al.* (2016) avaliando o efeito de diferentes níveis de nutrientes na fertirrigação da Moringa observaram que ao aumentar o incremento de fertilizantes na irrigação maior também foi a variável diâmetro de caule, sendo os diâmetros máximos de 6,2 mm, 8,4 mm e 10,3 mm, nas concentrações de 111%, 112% e 111% respectivamente aos 25, 40 e 55 dias após a semeadura (DAS), constatando um aumento percentual de 35% (25 DAS), 32% (40 DAS) e 36% (55 DAS) em comparação com as plantas irrigadas sem nenhuma concentração de fertilizantes. Estes resultados diferem dos obtidos neste estudo, visto que as plantas apresentaram maiores valores de diâmetro de caule ao longo da sua ontogenia.

Para o número de folhas houve interação entre os fatores AR x AF onde observou-se que o modelo matemático que melhor se ajustou foi o quadrático, sendo que o máximo número de folhas foi obtido com 46,75% de AR no tratamento com a adubação fosfatada perfazendo um número de folhas de 12,93 (Figura 8A). Já para a interação AR x SA não foi observado efeito significativo, sendo a média de número de folhas obtida de 11,72 (Figura 8A). Quando a Moringa foi adubada com AR e AF obteve uma produção em número de folhas superior a 9,35% quando comparada a Moringa irrigada com diferentes proporções de água residuária sem adubação fosfatada.

**Figura 8** - Desdobramento da interação AR x AF (A) e em função do tempo em dias após o início dos tratamentos (B) para número de folhas ao logo do ciclo de cultivo.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Nutrientes como Nitrogênio (N) e Fósforo (F) são essenciais para o bom desenvolvimento das plantas, são encontrados na água residuária de origem doméstica tornando-se disponíveis para as plantas quando sob irrigação (MEDEIROS *et al.*, 2015). O uso de água de esgoto tratada na irrigação da cultura do girassol obtiveram os maiores valores de número de folhas por planta observados por Freitas *et al.* (2012) com média de 25 folhas por plantas.

Aplicando variados níveis de nutrientes via fertirrigação em mudas de Moringa, Pereira *et al.* (2016) verificaram maior acréscimo em número de folhas por planta nas concentrações de 85%, 87% e 75% de fertilizantes, perfazendo o máximo de 8, 10 e 13 folhas com aumento percentual de 14,3%, 11,1% e 8,35, respectivamente, aos 25, 40 e 55 dias após a semeadura. Resultado este condizente com os obtidos no presente estudo, no entanto, com menor proporção de água residuária.

Medeiros *et al.* (2017) evidenciaram aumento no número de folhas em mudas de Moringa quando adubadas com composto orgânico, proporcionando as plantas maior aporte de nutrientes como o nitrogênio (N) assim, é perceptível que quanto mais nitrogênio for aportado ao solo, mais as plantas de moringa conseguem se desenvolver em termos de número de folhas. Negóbra *et al.* (2018) ao estudar os efeitos adversos da irrigação com água salina na produção de folhas em mudas de Moringa, verificaram que o maior número de folhas nas plantas quando cultivadas numa solução proporcional em 9:1 de solo + esterco bovino curtido adicionando 25 mg dm<sup>-3</sup> de N, e 9:1 de solo + esterco bovino curtido adicionando 50 mg dm<sup>-3</sup> de N em condições de salinidade.

Observou-se efeito significativo para o número de folhas em função dos DAIT sendo, que a equação matemática linear foi a que melhor se ajustou com a maior quantidade de folhas obtida aos 105 DAIT o que corresponde a um número de folhas de 15,58 (Figura 8B). Nota-se um acréscimo de 14,37% a cada 15 dias. Estes resultados mostram-se superiores aos encontrados por Pereira *et al.* (2016) ao observar aumento de 14,3%, 11,1% e 8,3% aos 25, 40 DAS e 55 dias após a semeadura em mudas de Moringa fertirrigadas em concentrações de 85%, 87% e 75% de fertilizantes com diferentes nutrientes chegando a um número máximo de 8, 10 e 13 folhas respectivamente aos 25, 40 e 55 dias após a semeadura. Essa diferença observada pode estar atrelada ao maior aporte de nutrientes obtidos neste estudo como demonstrado na tabela 5. Em especial de potássio, nitrato e nitrito que são elementos fundamentais para o crescimento das plantas.

A Tabela 7 demonstra a síntese da análise de variância para taxa de crescimento absoluto em altura das plantas TCAAP e taxa de crescimento relativo em altura das plantas TCRAP em função da proporção de água residuária, adubação fosfatada e tempo. Nota-se efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F para TCAAP, no entanto, não se verificou efeito significativo para TCRAP em função da proporção de água residuária (Tabela 7).

**Tabela 7** - Quadrado médio para taxa de crescimento absoluto em altura das plantas e taxa de crescimento relativo em altura das plantas em função dos tratamentos e tempo.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio	
		TCAAP (m dia <sup>-1</sup> )	TCRAP (mm <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )
Água Residuária (AR)	4	0,0003**	0,0001 <sup>ns</sup>
Reg. Linear	1	0,0010**	0,0003*
Reg. Quadrática	1	0,0001*	0,00005 <sup>ns</sup>
Adubação Fosfatada (AF)	1	0,0014**	0,0004*
Tempo (T)	5	0,0025**	0,0070**
Reg. Linear	1	0,0030**	0,03127**
Reg. Quadrática	1	0,0047**	0,00001 <sup>ns</sup>
AR * AF	4	0,00006 <sup>ns</sup>	0,00006 <sup>ns</sup>
AR * AF * T	20	0,00001 <sup>ns</sup>	0,00001 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,00001	0,00005
Resíduo	202	0,00003	0,00005
CV%	-	27,72	28,34
Média Geral	-	0,021	0,026

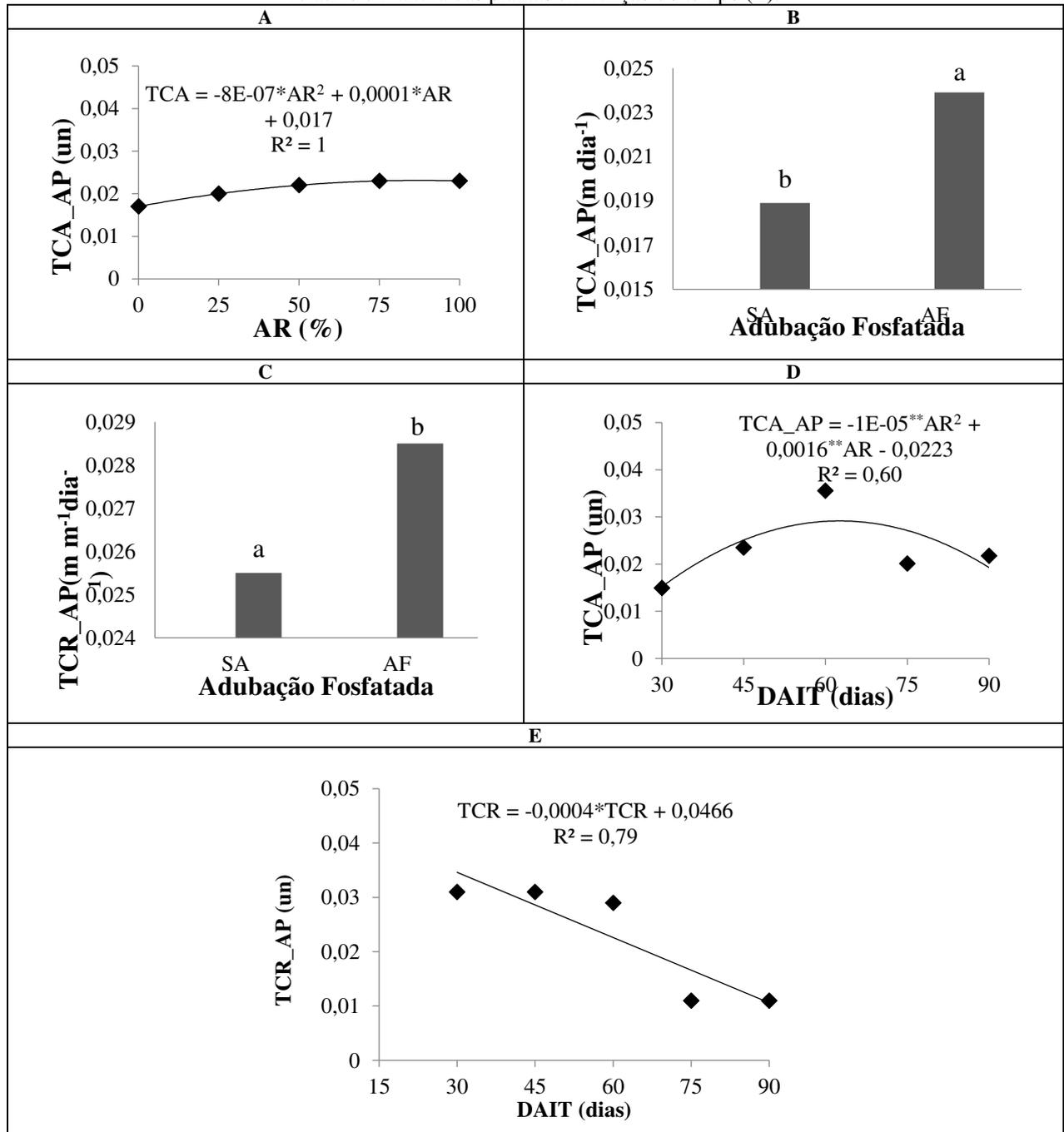
<sup>ns</sup>Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste F; \*, \*\* Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Para o fator adubação fosfata, houve efeito significativo a 0,01 e 0,05% respectivamente para TCAAP e TCRAP (Tabela 7). Quando se analisou o tempo, observou-se efeito

significativo a 1% pelo teste F tanto para TCAAP quanto TCRAP. Não houve efeito significativo da interação AR x AF, tampouco para AR x AF x T para as variáveis TCAAP e TCRAP (Tabela 7). As taxas de crescimento absoluto e relativo em altura de plantas em função da proporção de AR, da adubação fosfatada e do tempo encontram-se na Figura 9.

**Figura 9** - Taxa de crescimento relativo em altura das plantas em função da água residuária (A) em função da adubação fosfatada (B) da interação AR x AF (C) em função do tempo em dias (D) e taxa de crescimento relativo em altura das plantas em função do tempo (E).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A taxa de crescimento absoluto para a altura das plantas (TCAAP) teve influência positiva das diferentes proporções de água residuária aplicadas, com efeito significativo a 1% pelo teste F (Figura 9A). Observa-se aumento da TCAAP conforme aumentou a proporção de água residuária (AR) até a porcentagem de 75%, havendo uma estabilização do crescimento quando a proporção foi de 75 a 100% de AR. Este resultado demonstra que a AR pode suprir as necessidades nutricionais das plantas, contribuindo para o seu crescimento.

Ao analisar a taxa de crescimento absoluto (TCAAP) e relativo em altura das plantas (TCRAP) em função da adubação fosfatada (Figura 9B e 9C) observa-se que houve efeito significativo a 0,05% pelo teste de Tukey, sendo que o tratamento em que não foi aplicada adubação fosfatada foi o que evidenciou os menores valores de taxas de crescimento relativo e absoluto em altura de plantas (Figura 9B e 9C). Fato que se justifica em decorrência dos tratamentos com adição de fósforo proporcionar maiores incrementos em termos de altura de plantas, quando comparado aos tratamentos sem aplicação de fósforo.

Para o fator tempo (Figura 9D e 9E) a (TCAAP) e (TCRAP) evidenciaram resultados diferentes. Nota-se que para a taxa de crescimento absoluto, o desenvolvimento máximo foi obtido com 60 dias após início de aplicação dos tratamentos, observando-se decréscimo a partir dessa data. Já para a Taxa de crescimento relativo em termos de altura de plantas de Moringa observou-se que o máximo TCRAP foi obtido aos 30 DAIT, com decréscimo partir dessa data (Figura 9E).

A taxa de crescimento absoluto (TCA) representa a velocidade em que ocorreu o crescimento das plantas a partir do incremento observado entre duas amostras sucessivas, enquanto que a taxa de crescimento relativo (TCR) se dá pela estimativa observada ao longo do crescimento das plantas tendo em vista o acúmulo de matéria pré-existente (BENINCASA, 2003).

Em estudos com plantas de girassol irrigadas com água residuária doméstica tratada Dantas *et al.* (2019) ao avaliarem os componentes de produção concluíram que esse tipo de água, quando comparada com água de abastecimento da rede pública, incrementou significativos ganhos em todas as variáveis avaliadas, recomendando o seu uso para a produção de vegetais, sobretudo em regiões de escassez de água como é o caso do semiárido brasileiro, a exemplo do presente estudo.

Avaliando os efeitos da irrigação com água residuária sobre o crescimento de girassol, Nobre *et al.* (2009) observaram incrementos importantes sobretudo nas variáveis matéria fresca e matéria seca das plantas, denotando ainda que, a irrigação com água residuária apresentou efeitos mais significantes que a adubação orgânica para a maioria das variáveis estudadas.

Magalhães, Martins e Medeiros (2019) analisando o crescimento da planta Sabiá sob irrigação com água residuária em região semiárida como fonte alternativa de nutrientes para o cultivo de espécies vegetais, verificaram a maior taxa de crescimento absoluto na altura das plantas (TCAA) ocorreu entre os períodos de 42 a 136 dias após o início dos tratamentos (DAIT), alcançando o valor máximo de 1,24 cm dia<sup>-1</sup> aos 136 DAIT, sendo que o período entre 136 aos 531 DAIT os autores observaram decréscimo na variável TCAA, assim como observado no presente estudo. De acordo com Rocha *et al.* (2014) o esgoto doméstico tratado utilizado como fertirrigação pode substituir, em alguns casos, o uso de fertilizantes na produção de mudas, tal como demonstrado nos estudos desses mesmos autores, verificando significativa diferença no crescimento absoluto e relativa na altura de planta Eucalipto irrigada com água residuária doméstica tratada quando comparada com outros tipos de água na irrigação.

O resumo da análise de variância para matéria fresca (MF) e matéria seca (MS) da parte aérea das plantas está disponível na tabela 8. Os fatores adubação fosfatada e água residuária tiveram efeito significativo ao nível de 0,01% de probabilidade pelo teste F, para MF e MS da parte aérea das plantas. Para o fator tempo houve efeito significativo a 0,01% para todas as variáveis pelo teste F. Não houve efeito significativo da interação AR x AF e também não houve efeito significativo para AR x AF x T para as variáveis MF e MS (Tabela 8).

**Tabela 8** - Quadrado médio para matéria fresca e matéria seca da parte aérea das plantas em função dos tratamentos e tempo.

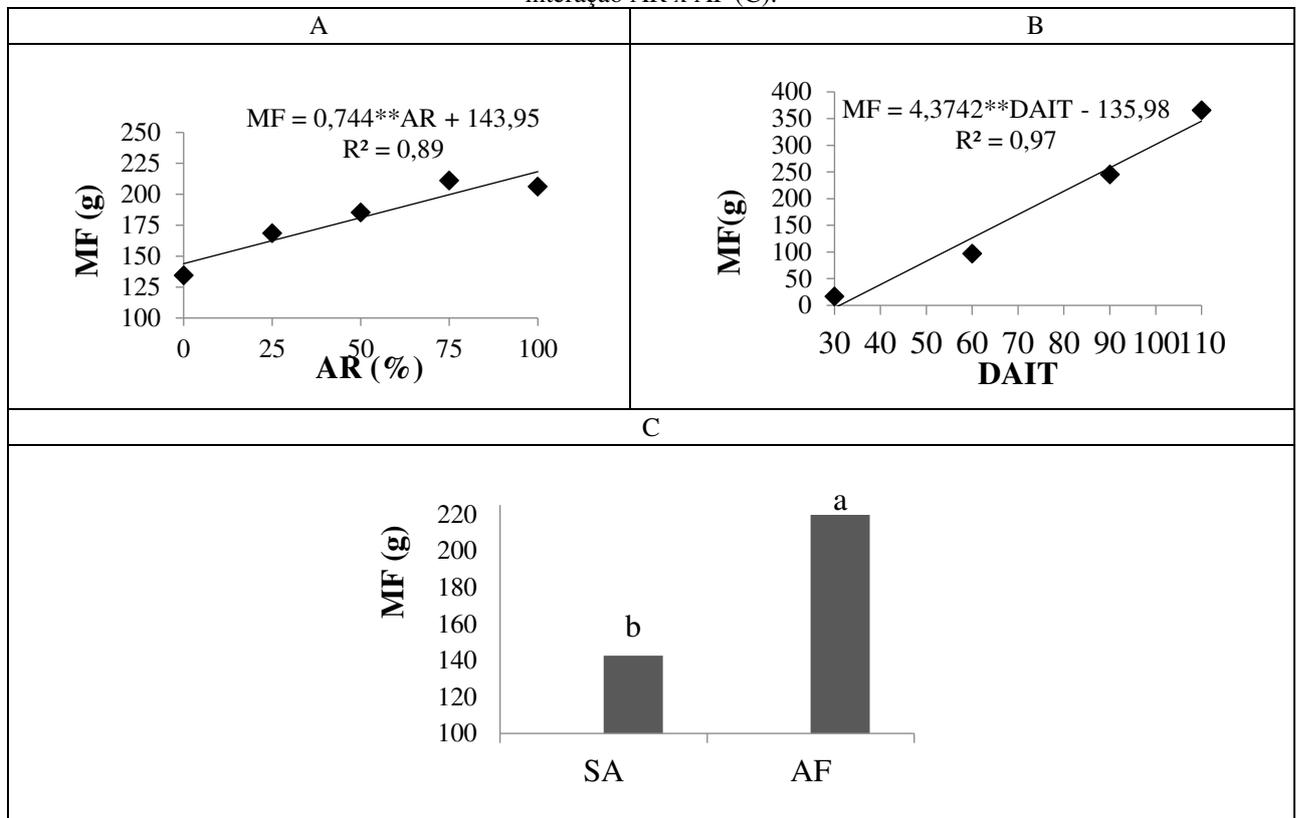
Fonte de Variação	GL	Quadrado médio	
		MF (m)	MS (mm)
Água Residuária (AR)	4	31014,94**	1057,56**
Reg. Linear	1	110742,54**	3520,79**
Reg. Quadrática	1	10699,81 <sup>ns</sup>	616,40 <sup>ns</sup>
Adubação Fosfatada (AF)	1	237835,77**	7529,39**
Tempo (T)	3	962880,60**	36467,21**
Reg. Linear	1	2812613,44**	105774,821**
Reg. Quadrática	1	74914,70**	3447,60**
AR *AF	4	6110,50 <sup>ns</sup>	190,46 <sup>ns</sup>
AR*AF* T	12	2275,61 <sup>ns</sup>	86,55 <sup>ns</sup>
Bloco	3	942,99	75,28
Resíduo	132	3709,26	149,73
CV%	-	33,62	33,8
Média Geral	-	181,15	36,2

<sup>ns</sup>Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste F; \*, \*\* Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Observou-se um importante incremento na matéria fresca das plantas em função da água residuária com efeito significativo a 0,01% de probabilidade, onde a equação matemática que melhor se ajustou foi a linear (Figura 10).

**Figura 10** - Matéria fresca das plantas em função da água residuária (A) em função do tempo em dias (B) e da interação AR x AF (C).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A matéria fresca da parte aérea da *Moringa* foi influenciada positivamente pelas diferentes proporções de água residuária aplicadas via irrigação (Figura 10A). Na medida em que, se aumentou a proporção de água residuária na irrigação, se elevou a quantidade de matéria fresca em gramas, sendo que, o peso máximo da matéria fresca foi obtida com 70% de água residuária (211,19 g), este resultado condiz com os resultados encontrados na taxa de crescimento absoluto da altura das plantas (Figura 9A).

Para o fator tempo (Figura 10B) é possível verificar que à medida que os dias se passaram a matéria fresca de plantas de *Moringa* aumentou de forma significativa. Para Pereira *et al.* (2014) a *Moringa* tem crescimento relativamente alto e se desenvolve sob a influência de fertilizantes no solo disponíveis a planta, principalmente no períodos iniciais do desenvolvimento da planta.

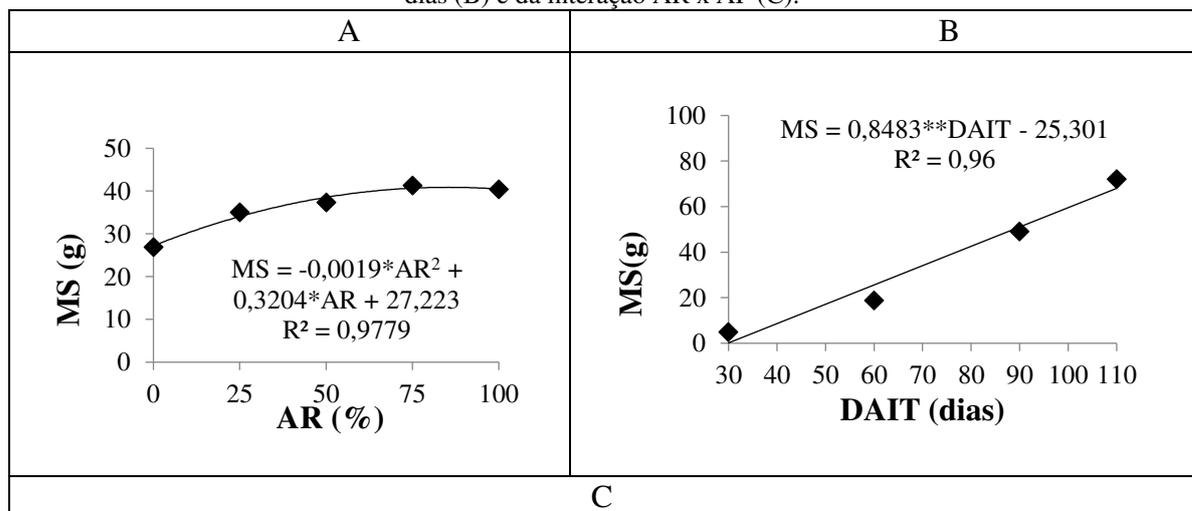
Ao comparar o efeito dos tratamentos AR x AF, observa-se efeito significativo ao nível de 1% pelo teste de Tukey (Figura 10C). A matéria fresca foi superior quando se fertirrigou

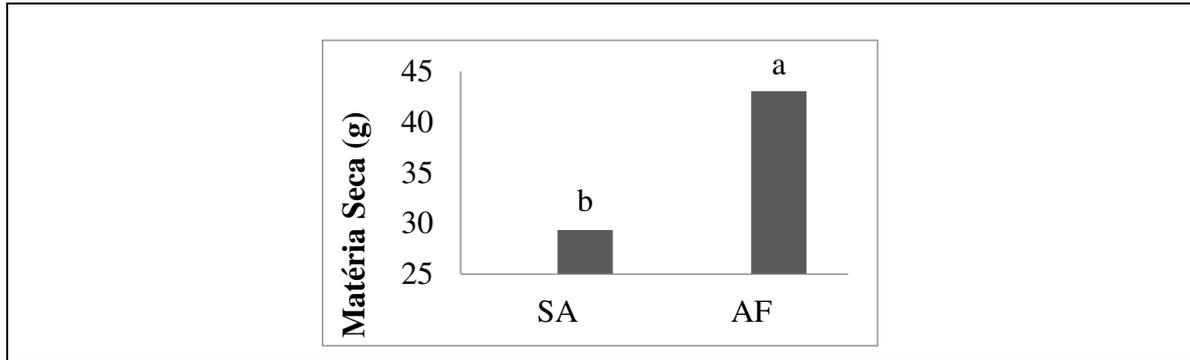
com fósforo e menor quando não se aplicou adubação fosfatada. Isto evidencia a importância de se adubar com fósforo nos períodos iniciais de desenvolvimento da moringa.

Com resultados semelhantes aos apresentados neste estudo, Rebouças *et al.* (2010) verificaram que de maneira geral, a irrigação com água residuária doméstica tratada influenciou diretamente na biomassa das plantas, proporcionando maior crescimento ao suprir as necessidades de nutrientes do feijão-caupi mesmo quando se omite a adubação mineral durante o cultivo. Lacerda, Malafaia e Rodrigues (2013) também verificaram uma superioridade significativa nos resultados demonstrados em seus estudos com *Leucena* fertirrigada com água de esgoto doméstico, refletindo em maior aporte da parte aérea das plantas. Corroborando com estes estudos, Sousa Neto *et al.* (2012) destaca o efeito acumulativo de nutrientes que estão presentes na irrigação com água residuária, compensando a carência nutricional do solo e, por conseguinte, melhora a resposta das plantas na produção de biomassa.

Assim como a matéria fresca da parte aérea da Moringa, a matéria seca da parte aérea da planta também respondeu de forma positiva com o aporte de diferentes proporções de água residuária aplicadas na irrigação. Ao passo que aumentou a concentração de AR, aumentou também o peso da matéria seca em gramas, atingindo seu máximo em 75% de água residuária (Figura 11A).

**Figura 11** - Matéria seca da parte aérea das plantas em função da água residuária (A) em função do tempo em dias (B) e da interação AR x AF (C).





Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Os resultados obtidos no presente trabalho justificam-se em decorrência do maior aporte de N, P e K encontrado na água residuária como se pode conferir na tabela 5 que mostra o acumulado desses nutrientes no decorrer do ciclo. Assim como neste estudo, Brito et al. (2018) ao estudar os efeitos de cinco diferentes concentrações de água residuária na irrigação agrícola, observaram que na proporção de 100% e 75% de água residuária resultaram em maior acréscimo de matéria seca da parte aérea.

Analisando o crescimento do algodoeiro irrigado com água residuária, Bezerra e Fideles Filho (2009) verificaram que o acúmulo de fitomassa da cultura irrigada com água residuária foi muito superior a mesma cultura irrigada com água de abastecimento, chegando há quase quatro vezes mais aos 120 dias após a semeadura. No cultivo de Girassol Ornamental irrigado com água residuária, Souza *et al.* (2010) observaram que houve maior incremento de matéria seca das plantas em todas as variáveis avaliadas em comparação com a irrigação com água de abastecimento.

Quando se analisou a matéria seca da parte aérea em função dos dias após o início dos tratamentos (DAIT) verificou-se um crescimento ascendente de forma linear até o final do ciclo com efeito significativo para este fator, sendo a equação linear a que melhor se ajustou. Nota-se que a matéria seca da parte aérea aumentou ao longo da ontogenia da planta, sendo que aos 110 DAIT, obteve-se cerca de 68g de massa seca da parte aérea (Figura 11B).

Ao analisar o efeito da adubação fosfatada sobre a matéria seca da parte aérea das plantas (Figura 11C), verifica-se efeito significativo ao nível de 0,05% pelo teste de Tukey. Nota-se que as plantas que não foram adubadas com fósforo evidenciaram as menores médias em termos de massa seca quando comparadas as que foram adubadas com fósforo. A deficiência de fósforo disponível a planta, pode ocasionar restrições no acúmulo de fitomassa e modificar a relação raiz / parte aérea das plantas (BOVI *et al.*, 1999). De igual forma, a omissão do P no cultivo da Moringa tende a provocar uma baixa produtividade de MS, desencadeando um maior

crescimento das suas raízes em relação a sua parte aérea como demonstrado nos estudos de (VIEIRA, CHAVES e VIÉGAS *et al.*, 2008).

O resumo da análise de variância para taxa de crescimento absoluto da matéria fresca da parte aérea (TCA\_MFPA) e taxa de crescimento absoluto da matéria seca da parte aérea (TCA\_MSPA) das plantas em ( $\text{g dia}^{-1}$ ) e taxa de crescimento relativo da matéria fresca da parte aérea (TCR\_MFPA) e taxa de crescimento relativo da matéria seca da parte aérea (TCR\_MSPA) das plantas em ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ) está disponível na tabela 9.

Os fatores adubação fosfatada e água residuária tiveram efeito significativo a 0,01% pelo teste F, para as variáveis TCA\_MFPA e TCA\_MSPA das plantas. Não houve efeito significativo para a interação entre os fatores estudados. Não houve efeito significativo dos fatores adubação fosfatada e água residuária para TCR\_MFPA e TCR\_MSPA das plantas em ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ). O fator tempo em dias após o início dos tratamentos (DAIT) teve efeito significativo a 0,01% para todas as variáveis (Tabela 9).

**Tabela 9** - Quadrado médio para taxa de crescimento absoluto e relativo da matéria fresca e seca da parte aérea das plantas em função dos tratamentos e tempo.

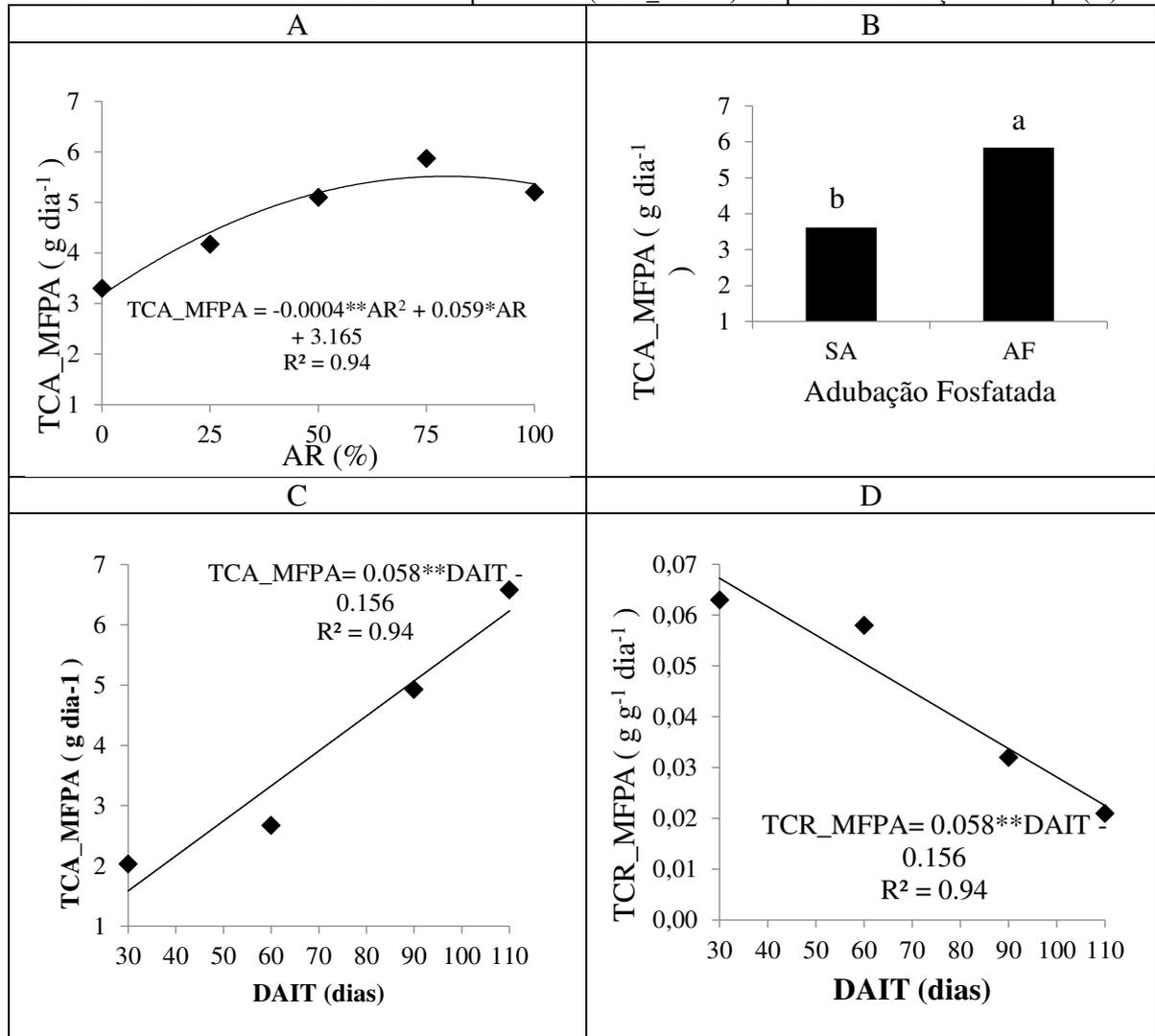
Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		TCA_MFPA ( $\text{g dia}^{-1}$ )	TCA_MSPA ( $\text{g dia}^{-1}$ )	TCR_MFPA ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ )	TCR_MSPA ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ )
Água Residuária (AR)	4	1,341**	0,156**	0,001 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>
Reg. Linear	1	3,447**	0,440**	0,0024 <sup>ns</sup>	0,0024 <sup>ns</sup>
Reg. Quadrática	1	1,516*	0,150 <sup>ns</sup>	0,0031 <sup>ns</sup>	0,0031 <sup>ns</sup>
Adubação Fosfatada (AF)	1	7,655**	0,824**	2,868 <sup>ns</sup>	0,006 <sup>ns</sup>
Tempo (T)	3	6,731**	4,270**	0,103**	0,0432**
Reg. Linear	1	13,229**	12,740**	0,207**	0,207**
Reg. Quadrática	1	0,233 <sup>ns</sup>	0,010 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>
AR * AF	4	0,220 <sup>ns</sup>	0,010 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>
AR*AF* T	12	0,235 <sup>ns</sup>	0,020 <sup>ns</sup>	0,0019 <sup>ns</sup>	0,0012 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,214	0,01	0,00023	0,00002
Resíduo	132	0,318	0,04	0,0017	0,0016
CV%	-	27,47	26,24	22,89	21,24
Média Geral	-	2056	0,79	0,184	0,035

<sup>ns</sup>Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste F; \*, \*\* Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Observou-se um importante incremento em ( $\text{g dia}^{-1}$ ) na taxa de crescimento absoluto da matéria fresca da parte aérea (TCA\_MFPA) das plantas em função da água residuária (AR) com efeito significativo a 0,01% de probabilidade, chegando ao valor máximo obtido ( $5,87 \text{ g dia}^{-1}$ ) no tratamento com 75% de AR, onde a equação matemática que melhor se ajustou foi a linear (Figura 12A).

**Figura 12** - Taxa de crescimento absoluto da matéria fresca da parte aérea (TCA\_MFPA) das plantas em função da água residuária (A), em função da adubação fosfatada (B) e em função do tempo em dias (C). Taxa de crescimento relativo da matéria fresca da parte aérea (TCR\_MFPA) das plantas em função do tempo (D).



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Este resultado se deve ao aporte de nutrientes que estão presentes na água residuária - AR, favorecendo o crescimento e desenvolvimento das plantas como já demonstrado nos resultados anteriores nesse estudo. Outros estudos semelhantes a este também relatam aumento da taxa de crescimento da matéria fresca em função da AR, como Magalhães et al. (2019) que ao analisar o crescimento de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth sob efeito da irrigação com água residuária, observaram aumento da taxas de crescimento absoluto da fitomassa fresca das plantas no período entre 42 a 136 dias após o início dos tratamentos.

Ao se analise o efeito da adubação fosfatada sobre a TCA\_MFPA (Figura 12B) observa-se que o tratamento com adubação fosfatada obteve maiores taxas de crescimento absoluto em massa fresca da parte aérea (5,84 g dia<sup>-1</sup>) quando comparado ao tratamento sem adubação fosfatada (3,62 g dia<sup>-1</sup>).

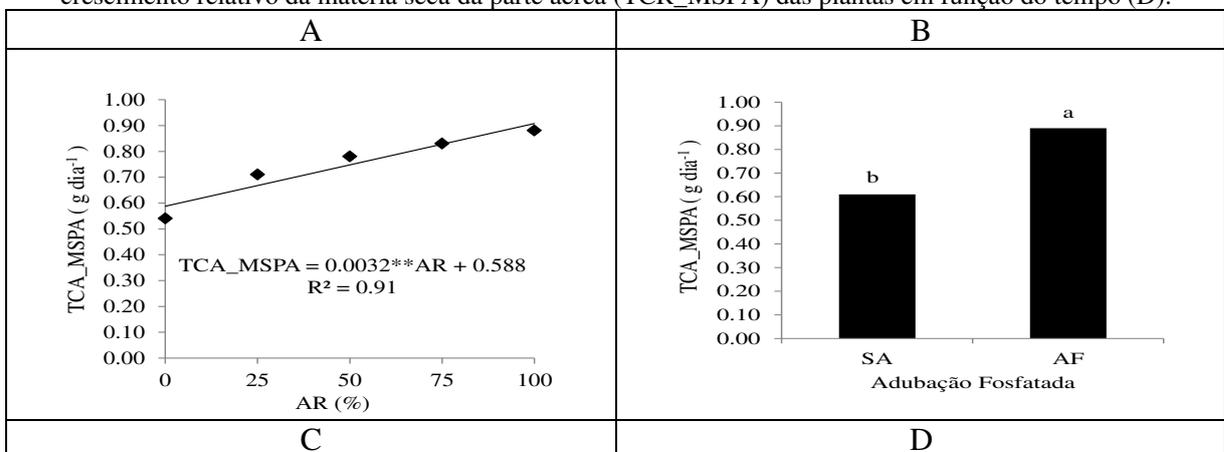
Esses resultados corroboram para ratificar os benefícios do fósforo sobre o crescimento das plantas pela atuação primordial no ciclo de Calvin-Benson atuando na formação de trioses-fosfato, e por consequência, na síntese do amido e da sacarose, formando a biomassa da planta (TAIZ; ZEIGER, 2013).

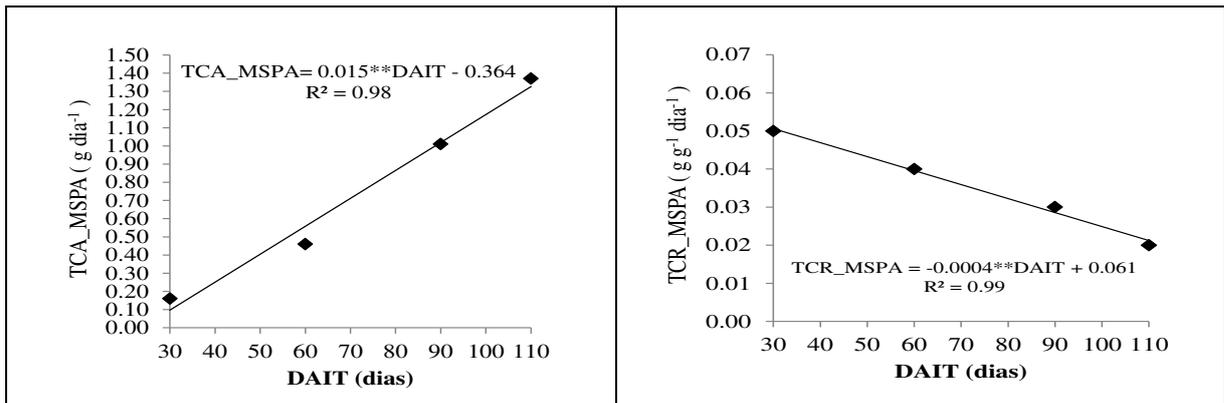
Quando se analisou as taxas de crescimento absoluto e relativo em massa fresca da parte aérea em função dos dias após início dos tratamentos (Figura 12C e 12D), evidencia-se que houve efeito inverso para essas variáveis. A TCA\_MFPA aumentou em função do tempo em dias após o início dos tratamentos - DAIT com máximo rendimento obtido aos 110 DAIT (6,58 g dia<sup>-1</sup>), enquanto que a TCR\_MFPA o seu máximo de rendimento foi observado aos 30 DAIT, havendo uma redução gradativa da TCR\_MFPA com o passar do tempo, que é um fato já esperado em virtude do envelhecimento das plantas.

Alvarez *et al.* (2012) reportam que a taxa de crescimento relativo (TCR) retrata o aporte acumulado de matéria seca pela planta em determinado intervalo de tempo a partir do tamanho ou material inicial, com propensão de redução da TCR com o envelhecimento das plantas. Para Benincasa (2003), a TCR demonstra a velocidade de crescimento das plantas comparando do seu estágio inicial até um período determinado.

Na figura 13A, verifica-se o crescimento contínuo da TCA\_MSPA na medida em que se aumenta a concentração de AR, alcançando o seu valor máximo com 100% de AR, com efeito significativo a 0,01% pelo teste F, sendo a equação linear a que melhor se ajusta.

**Figura 13** - Taxa de crescimento absoluto da matéria seca da parte aérea (TCA\_MSPA) das plantas em função da água residuária (A), em função da adubação fosfatada (B) e em função do tempo em dias (C). Taxa de crescimento relativo da matéria seca da parte aérea (TCR\_MSPA) das plantas em função do tempo (D).





Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Corroborando com este estudo, Rebouças *et al.* (2018) observaram efeito significativo da irrigação com água residuária sobre o acúmulo de matéria seca em mudas de Sabiá. Gonçalo Filho, (2019) avaliando diferentes porcentagens de água residuária na irrigação do algodoeiro herbáceo (BRS 335), percebeu aumento significativo na produção de matéria seca das plantas em dois cultivos, atribuindo os resultados ao alto teor de nutrientes e matéria orgânica presentes na água residuária.

Cabe destacar que a eficiência da água residuária em dispor os nutrientes essenciais à planta, fez com que a Moringa mantivesse uma crescente taxa de acumulação de matéria seca de acordo com a maior concentração de AR na irrigação (Figura 13A). Vieira *et al.* (2008) destacam nos seus estudos que a planta Moringa foi capaz de manter a taxa de crescimento da matéria seca da parte aérea mesmo na omissão de K, Ca e S no período de 30 dias, comparando com o tratamento de suplementação completa de nutrientes. Já Barroso *et al.*, (2005) observaram uma redução de 80% no acúmulo de matéria seca em mudas de teca submetida a omissão de Ca. Avaliando o efeito do estresse salino sobre a produção de matéria seca da Moringa, Miranda *et al.* (2007) e Nóbrega *et al.* (2018) verificaram que houve redução da matéria seca de todas as partes da planta em função da alta concentração de NaCl durante o estudo.

Nota-se na figura 13B que a adubação fosfatada proporcionou um aumento na TCA\_MSPA, atingindo o valor máximo de 0.89 g dia<sup>-1</sup> enquanto que o valor máximo atingido pelo tratamento sem adubação fosfatada foi de 0.61g dia<sup>-1</sup>. Ao estudar o crescimento inicial da planta Jatobá em função da adubação fosfatada, Lacerda *et al.* (2011) notaram um aumento de 15% na produção de matéria seca da parte aérea das plantas cultivadas em nível elevado de fósforo em comparação com as plantas cultivadas em baixo nível de fósforo. Resultados semelhantes também foram notados por Cruz *et al.* (2015) ao estudar Influência da adubação

fosfatada sobre o crescimento do *Camapu*, destacando um importante incremento na matéria seca das plantas em função da adubação fosfatada. Por outro lado, Vieira *et al.* (2008) observaram que houve perda significativa na matéria seca da parte aérea da Moringa sob omissão de N, P e Mg no período de 30 dias.

Observa-se na figura 8C o crescimento acentuado na TCA\_MSPA em função do tempo em dias, acompanhando o mesmo índice de crescimento que ocorreu na TCA\_MFPA em função do tempo. Já na TCR\_MSPA, verifica-se na figura 13D que no decorrer do tempo e na medida em que a planta foi crescendo, a TCR\_MSPA foi decrescendo, fato que se atribui, dentre outros motivos, maior carência de nutrientes ao passo em que as plantas vão ficando envelhecidas, como se observa tanto na taxa de crescimento relativo da matéria fresca quanto na taxa de crescimento relativo da matéria seca da parte aérea em função do tempo. Provavelmente os tratamentos realizados não tenham suprido as necessidades nutricionais da Moringa nos estádios de crescimento mais avançado da planta. Estes resultados são condizentes com os encontrados por Gava *et al.* (2001), atribuindo esse fato as condições impostas pelo ambiente durante o cultivo de cana-de-açúcar.

O resumo da análise de variância para relação raiz / parte aérea (RRPA) das plantas está disponível na tabela 10. Os fatores adubação fosfatada e água residuária tiveram efeito significativo a 0,01% para RRPA das plantas pelo teste F. Não houve efeito significativo da interação AR x AF para a variável neste estudo (Tabela 10).

**Tabela 10** - Quadrado médio para relação raiz / parte aérea das plantas em função dos tratamentos.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio
		RR/PA
Água Residuária (AR)	4	0,171**
Reg. Linear	1	0,535**
Reg. Quadrática	1	0,122 <sup>ns</sup>
Adubação Fosfatada (AF)	1	0,932**
AR *AF	4	0,078 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,018
Resíduo	27	0,014
CV%	-	19,09
Média Geral	-	0,638

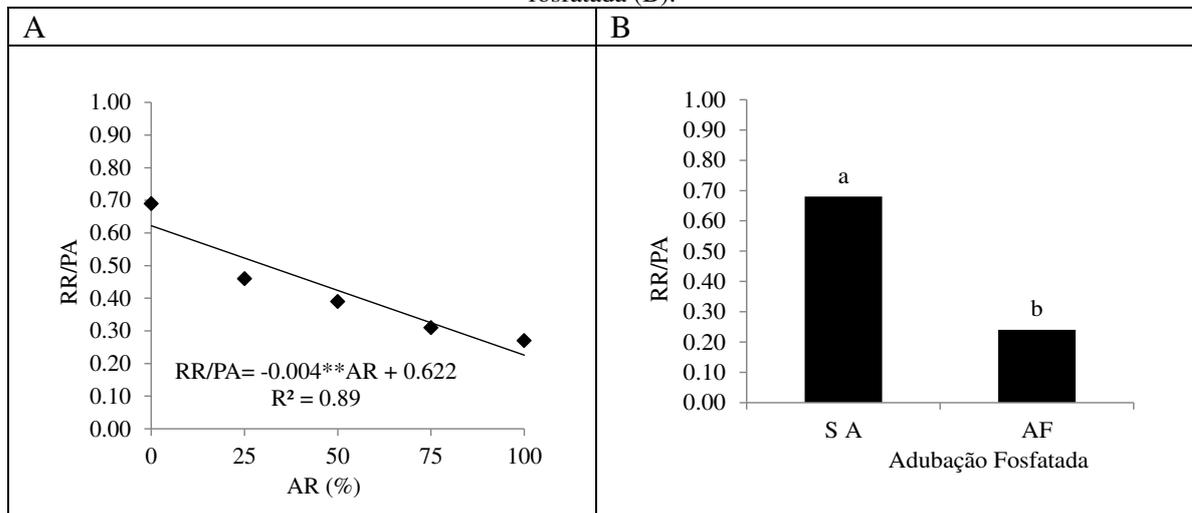
<sup>ns</sup>Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste F; \*, \*\* Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Conforme observado na Figura 14A, a relação raiz/parte aérea em função das diferentes proporções de água residuária para Moringa, é possível constatar que ao aumentar a proporção

de água residuária essa relação vai decrescendo, chegando a 0,22  $\text{g g}^{-1}$  ao disponibilizar 100% de água residuária, quando essa proporção é de 0% de AR essa relação aumenta para 0,62 grama de raiz por grama de parte aérea. Esta relação reduz, em decorrência das plantas em 100% de AR, possuem maior crescimento da parte área quando se compara ao crescimento obtido com 0% de AR.

**Figura 14** - Relação raiz / parte aérea das plantas em função da água residuária (A) e em função da adubação fosfatada (B).



Fonte: elaborado pelo autor 2020.

Para Fontes *et al.* (2005) é notório que os índices que determinam a análise da fitomassa da cultura no seu desenvolvimento percebem a capacidade do sistema de assimilação das plantas em promover a síntese e acumular a matéria orgânica naqueles órgãos dependentes de fotossíntese, respiração e da translocação de fitoassimilados das células de fixação do carbono para os órgãos de utilização e armazenamento onde acontece o crescimento e a diferenciação desses órgãos. Por tanto, quando o acúmulo de fitomassa se expande para as raízes das plantas, pode significar que as plantas desenvolveram essa característica como forma de se adaptar as condições de estresse, biótico ou abiótico, em que possam estar submetidas (SUASSUNA *et al.*, 2012). De acordo com Guimarães *et al.* (2011), a primeira reação das plantas quando expostas ao ambiente salino (visto que a água residuária continha 2,40  $\text{meq L}^{-1}$  de sódio) é regredir o potencial osmótico e, conseqüentemente o potencial hídrico do sistema radicular de forma a propiciar um gradiente de potencial adequado para que a planta absorva água do solo ou que a planta mantenha um balanço hídrico positivo por meio da transpiração reduzida.

Quanto a relação raiz/parte aérea - RRPA em função da adubação fosfatada, observa-se efeito significativo ao nível de 0,05% pelo teste de Tukey (Figura 14B). Nota-se que quando

se adubou com fósforo essa relação foi inferior a das plantas que não foram adubadas com fósforo. Fato este que possivelmente está atrelado aos benefícios que o fósforo propicia as plantas nas diferentes fases de crescimento.

Bayuelo-Jiménez *et al.* (2011) afirmam que a maioria das plantas quando cultivadas sob deficiência de P tendem a conduzir mais assimilados para o sistema radicular, com a finalidade de explorar de maneira mais eficaz, a pouca quantidade de fósforo que esteja disponível (VANCE *et al.*, 2003). Com maior aporte de fotoassimilados nas raízes, permite a planta explorar nutrientes em maior volume de solo, aumentando seu poder de absorção de nutrientes em baixa concentração na solução do solo (CRUZ *et al.*, 2015).

O resumo da análise de variância para quantidade de Nitrogênio (N), Fósforo (P) e Potássio (K) presentes nas folhas das plantas de Moringa em função das diferentes proporções de água residuária, da adubação fosfatada e do tempo, encontram-se na Tabela 11. Verifica-se efeito significativo da água residuária ao nível de 0,01% de probabilidade pelo teste F para o nitrogênio e potássio presente na parte aérea das plantas, já para o fósforo, observou-se efeito ao nível de 0,05% em função da proporção de água residuária. A adubação fosfatada influenciou ao nível de 0,05 e 0,01% na quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente. Observa-se ainda efeito da interação AR x AF para nitrogênio e fósforo ao nível de 0,05 e 0,01%, respectivamente (Tabela 11).

**Tabela 11** - Quadrado médio para a quantidade de nitrogênio, fósforo e potássio presente nas plantas em função dos tratamentos.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio		
		N (gkg <sup>-1</sup> )	P (gkg <sup>-1</sup> )	K (gkg <sup>-1</sup> )
Água Residuária (AR)	4	93,40**	47,82*	35,89**
Reg. Linear	1	343,46**	48,92 <sup>ns</sup>	110,45**
Reg. Quadrática	1	20,82 <sup>ns</sup>	136,88**	26,01 <sup>ns</sup>
Adubação Fosfatada (AF)	1	70,25*	3476,17**	329,24**
AR *AF	4	37,41*	200,87**	7,07 <sup>ns</sup>
Bloco	3	24,9	105,51	6,09
Resíduo	27	6,03	16,21	3,5
CV%	-	7,3	10,34	8,96
Média Geral	-	33,64	38,94	20,88

<sup>ns</sup>Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste F; \*, \*\* Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, pelo teste F.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A concentração de nutrientes nas folhas das plantas retrata sua disponibilidade na solução do solo cultivado, isso porque, há uma relação direta entre o aporte de nutrientes disponíveis na solução do solo e o acúmulo de nutrientes presentes nas folhas das plantas tanto em concentração adequada quanto em uma relação equilibrada entre os nutrientes

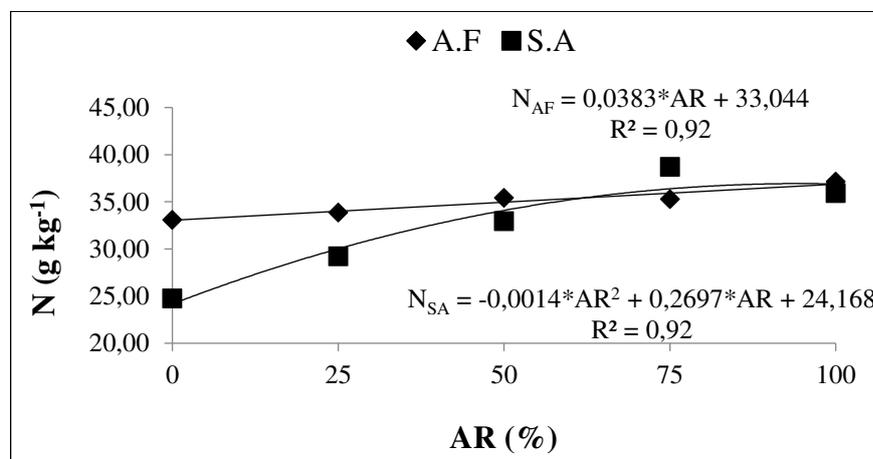
(MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Fato que se justifica no presente trabalho, uma vez que houve um aporte de nutrientes presentes na irrigação das plantas, onde no final do ciclo acumulou ( $787,55 \text{ mgL}^{-1}$ ), ( $27,36 \text{ meqL}^{-1}$ ), ( $99,05 \text{ mgL}^{-1}$ ) e ( $3,585 \text{ mgL}^{-1}$ ) de fósforo, potássio, nitrato e nitrito respectivamente.

Ao estudar os efeitos da água residuária de origem doméstica na irrigação de mudas de eucaliptos comparando-os com tratamentos convencionais de fertirrigação com nitrato de amônio, nitrato de potássio e monoamônio fosfato (MAP), Augusto *et al.* (2007) constataram um aumento nos teores de N, P e K nas folhas das plantas bem superior no tratamento de fertirrigação convencional, justificando que quanto maior o aporte de nutrientes ofertado as plantas, melhor será seu desempenho.

Nesse sentido, Silveira e Higashi (1998) afirmam que, nos tratamentos convencionais de fertirrigação, os teores de nitrogênio e potássio são apropriados para as plantas, em contrapartida, a água residuária teria um teor insuficiente desses nutrientes. No entanto, ainda de acordo com esses autores, o teor de fósforo pode estar excessivamente presente no tratamento convencional, já na água residuária, o fósforo encontra-se num teor mais apropriado.

Quando se analisou a interação AR x S.A para a variável teor de nitrogênio nas folhas de *Moringa* (Figura 15) observou-se efeito quadrático, sendo que a proporção de água residuária que propiciou maior teor de nitrogênio nas folhas foi de 96,3% correspondendo a  $37,15 \text{ (gkg}^{-1}\text{)}$ .

**Figura 15** - Teor de nitrogênio ( $\text{gkg}^{-1}$ ) presente nas folhas de *Moringa* aos 90 dias após o início dos tratamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Analisando a interação dos fatores AR x versus solo com adubação fosfatada, observou-se efeito linear, sendo que na medida em que se eleva a proporção de água residuária associada à adubação fosfatada elevou-se o teor de nitrogênio nas folhas, com máximo valor em 100% de AR, correspondendo a  $36,87 \text{ gkg}^{-1}$ . Valores estatisticamente superiores aos encontrados por

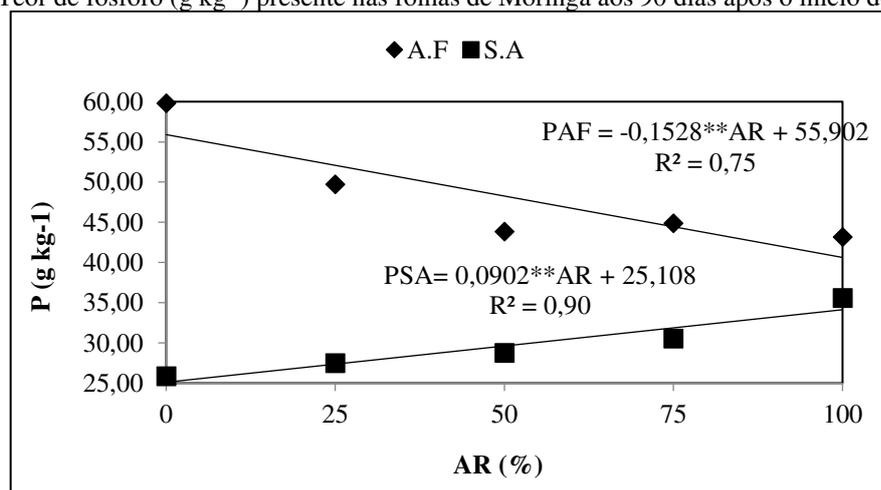
Moyo *et al.* (2011) e Teixeira (2012) 30,3 e 28,65 respectivamente em folhas secas e trituradas de Moringa. Essa superioridade se deve aos tratamentos estudados, devido ao alto teor desse mineral prontamente a disposição no solo para ser absorvido e transportado via sistema radicular.

O nitrogênio (N) pode ser absorvido pelas plantas sob a forma de íons  $\text{NH}_4^+$  (amônio) ou em forma de  $\text{NO}_3^-$  (nitrato) que é predominantemente disponível no solo. Ao absorver este mineral, a planta incorpora esse nutriente em forma de aminoácidos, que por sua vez, promove a síntese das proteínas, resultando em maior crescimento de suas folhas e subsequente aumento expansivo da área de fotossíntese (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

Ao estudar os benefícios nutricionais da *Moringa oleifera*, Almeida (2018) concluiu que as folhas dessa planta são muito ricas em nutrientes, tem uma quantidade de proteínas bem elevada e também tem uma alta concentração de vitaminas e minerais. Nos vegetais, a presença do nitrogênio total (NT) é representada sob três formas, proteína verdadeira que compõe de 60% a 80% do NT, seguido de nitrogênio não proteico e nitrogênio lignificado em menor quantidade (SOUZA; NOGUEIRA; BATISTA, 2006). Ao estudar os efeitos da omissão de nutrientes sobre as plantas de Moringa em seu estágio inicial de crescimento Vieira, Chaves e Viégas (2008) constataram que, a omissão de N, P e K da composição de nutrientes afetou o desenvolvimento das plantas, reduzindo o crescimento da parte aérea e aumentando o crescimento das raízes, sendo que, a omissão de nitrogênio foi a que mais influenciou nessa relação entre raiz e parte aérea.

O teor de fósforo no tecido foliar de plantas de Moringa aos 90 dias após aplicação dos tratamentos em função da interação proporção de água residuária x adubação fosfatada encontra-se na figura 16.

**Figura 16** - Teor de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) presente nas folhas de Moringa aos 90 dias após o início dos tratamentos.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Analisando o desdobramento da interação AR x AF nota-se que à medida que se elevou a proporção de água residuária reduziu o teor de fósforo nas folhas das plantas (figura 16) sendo o menor teor de fósforo foi obtido em 100% de AR, correspondendo a  $40,6 \text{ gkg}^{-1}$ . Este fato pode estar associado ao excesso de fósforo no solo oriundo do aporte pela água residuária ( $787,55 \text{ mgL}^{-1}$ ) e o acréscimo por meio da adubação fosfatada ( $7,9 \text{ gkg}^{-1}$ ).

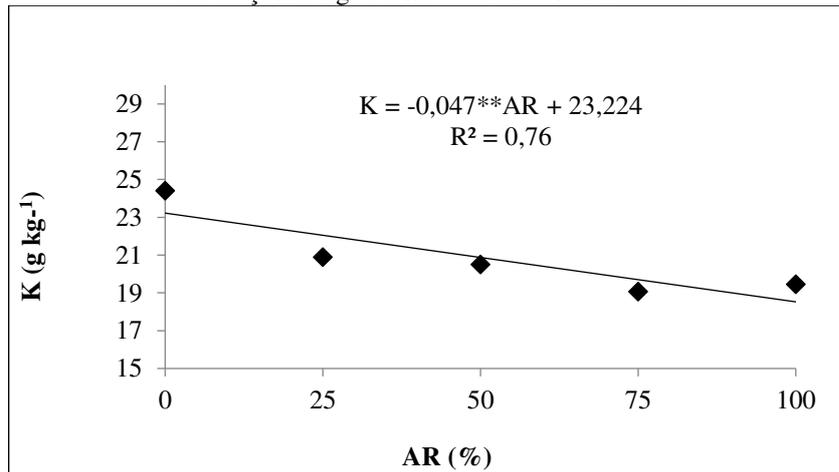
Já quando se analisou a interação AR x S.A (sem adubação fosfatada) observa-se que, à medida que se elevou a proporção de água residuária aumentou o teor de fósforo no tecido foliar, fato que pode estar atrelado ao aporte de fósforo no solo pela água residuária. Sendo o máximo teor de fósforo no tecido foliar obtido com 100% de AR, correspondendo a  $34,12 \text{ mgL}^{-1}$ .

Nos estudos desenvolvidos por Santos *et al.* (2008) foi observado incrementos importantes na produção de matéria seca na parte aérea de espécies florestais quando aumenta o aporte de fósforo para as plantas, evidenciando que, geralmente, ao aumentar o aporte de fósforo, as plantas tendem a elevar sua produção de matéria seca da parte aérea, elevando por conseguinte, a taxa de crescimento relativo das plantas. Resultados condizentes com os obtidos neste estudo. Achados semelhantes a este foram apresentados por Freitas *et al.* (2017) ao avaliar o crescimento de mudas de *Cassia grandis Linnaeus* f. com adubação fosfatada e calagem, evidenciando a influência positiva da adubação fosfatada sobre o crescimento e a qualidade das plantas nas condições estudadas em todas as variáveis avaliadas. Também nos estudos desenvolvidos por Teixeira *et al.* (2018) o incremento da adubação fosfatada contribuiu para um acréscimo na produção de matéria seca das plantas, justificando a essencial importância do fósforo para o bom desenvolvimento dos vegetais, já que, esse mineral encontra-se em deficiência na maioria dos solos no Brasil.

O fósforo é um suplemento essencial e um dos nutrientes mais importantes para o crescimento das plantas, sobretudo nos estádios iniciais (BEZERRA *et al.*, 2014). Nos estudos realizados por Almeida (2018) ao avaliar o valor nutricional da Moringa, constatou o seu alto teor de minerais, dentre os quais, o fósforo aparece com 204 mg por 100 g de pó de folhas secas dessa planta.

Na figura 17 encontra-se o teor de potássio ( $\text{gkg}^{-1}$ ) nas folhas de moringa aos 90 dias após aplicação dos tratamentos em função da água residuária.

**Figura 17** - Teor de potássio ( $\text{g kg}^{-1}$ ) presente nas folhas de Moringa aos 90 dias após o início dos tratamentos em função da água residuária doméstica tratada.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

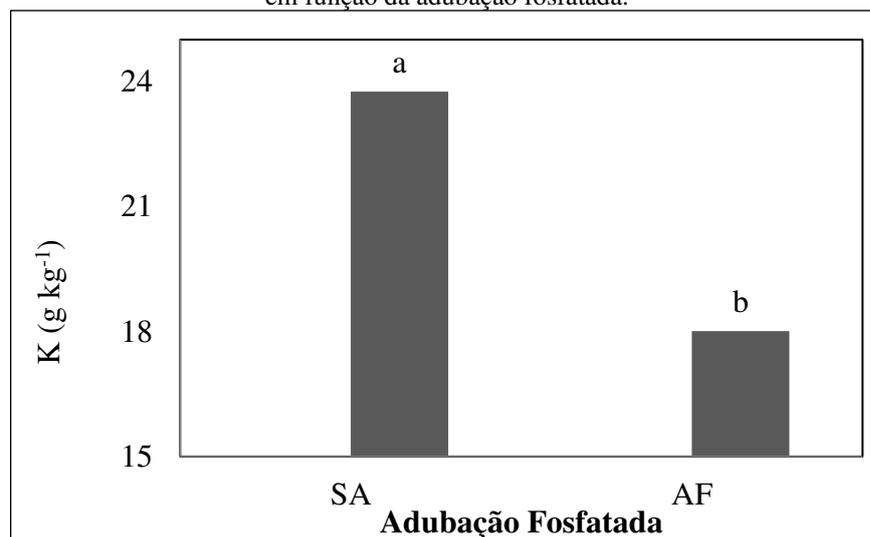
Verifica-se que houve efeito da proporção de água residuária sobre o teor de potássio nas folhas das plantas, sendo que à medida que se elevou a proporção de água residuária reduziu linearmente o teor de potássio nas folhas, fato que pode estar atrelado à quantidade de potássio aportado pela água residuária tratada via irrigação (Figura 17). Quando se tem um aporte excessivo de fósforo, pode inibir a absorção de potássio pelas plantas e conseqüentemente seu baixo teor no tecido foliar. O que pode justificar o fato de que, o incremento de fósforo  $41,18 \text{ mgL}^{-1}$ ,  $195,18 \text{ mgL}^{-1}$ ,  $507,55 \text{ mgL}^{-1}$  e  $787,55 \text{ mgL}^{-1}$  respectivamente aos 30, 60, 90 e 101 DAIT, tenha interferido na dinâmica de troca de cátions, como evidenciado na tabela 5. A absorção pela planta de um determinado mineral é diretamente influenciada pela presença de outros cátions na solução do solo, ou seja, um íon absorvido tende a influenciar na liberação de um outro íon e também se relaciona com outros cátions na superfície trocadora (TISDALE *et al.*, 1985).

Os resultados desse estudo também indicam uma suposta reação de estresse salino nas plantas em detrimento do excesso de sais contido na água residuária. Estudos desenvolvidos por Garcia *et al.* (2007) apresentaram efeitos significativos da alta salinidade no solo sobre os teores de potássio na parte aérea das plantas de milho com 120 dias após o plantio, reduzindo de forma linear a absorção de potássio ao aumentar os níveis de salinidade na solução do solo. Avaliando a concentração de macronutrientes em maracujazeiro-amarelo, Cruz *et al.* (2006) concluíram que o potássio foi o nutriente mais suprimido em função da submissão da planta ao estresse salino. Fato este que pode justificar os resultados obtidos neste estudo, uma vez que, à medida que se eleva a proporção de água residuária na irrigação, também se incrementa a quantidade de sais aportado ao solo, comprometendo desta forma a absorção e translocação de potássio pelas plantas.

O potássio (K) pode ser encontrado em larga escala na crosta terrestre, sendo o sétimo elemento de maior abundância, principalmente em solos com minerais primários e também em solo intemperizados nas formas trocável, não trocável e ainda a forma solúvel em água, sendo que, para suprir as plantas por esse nutriente a solução trocável de K no solo (íon  $K^+$ ) é a forma em que as plantas absorvem com maior rapidez (DECHEN; NACHTIGALL, 2007) e, dentre todos os macronutrientes, o K ocupa o segundo lugar dentre os mais exigidos pela maioria das culturas (NACHTIGALL; RAIJ, 2005). Contudo, de acordo com Albuquerque *et al.* (2011) irrigações excessivas e concentração de K em excesso na solução do solo causam perdas no desenvolvimento das plantas devido à lixiviação de nutrientes e consequente desequilíbrio dos nutrientes.

Com relação ao teor de potássio ( $g\ kg^{-1}$ ) nas folhas de moringa aos 90 dias após aplicação dos tratamentos em função da adubação fosfatada, observou-se efeito significativo da adubação fosfatada sobre teor de potássio nas folhas de Moringa aos 90 dias após aplicação dos tratamentos, conforme demonstrado na figura 18.

**Figura 18** - Teor de potássio ( $g\ kg^{-1}$ ) presente nas folhas de Moringa aos 90 dias após o início dos tratamentos em função da adubação fosfatada.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

É possível identificar que quando se colocou adubação fosfatada o teor de potássio foi inferior ( $18,01\ g\ kg^{-1}$ ) ao tratamento sem adubação fosfatada ( $23,75\ g\ kg^{-1}$ ), fato que pode estar associado à interação entre adubação fosfatada e absorção de potássio pelas plantas. Estudando diferentes doses de fósforo na cultura do feijão Caupi, Torquato *et al.* (2011) verificaram uma redução significativa nos teores de K nas raízes e folhas dessa cultura em função de diferentes doses de fósforo. Quando se adiciona outros fertilizantes ao solo, aumenta a lixiviação do

potássio em decorrência do K ser deslocado pelas cargas negativas pelos cátions que foram acrescentados nos fertilizantes (NOVAIS *et al.*, 2007).

A tabela 12 evidencia o resumo da análise de variância para Clorofila a, b, total e carotenoides aos 90 dias após aplicação dos tratamentos. Constatou-se que não houve efeito significativo para clorofila a, b, total e carotenoides para nenhum dos fatores estudados.

**Tabela 12** - Quadrado médio para Clorofila a, b, total e carotenoides aos 90 dias após o início da aplicação dos tratamentos.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio			
		MG_A (m)	MG_B (mm)	MG_CAR	MG_TOTAL
Água Residuária (AR)	4	0,0012 <sup>ns</sup>	0,0002 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	0,0020 <sup>ns</sup>
Reg. Linear	1	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>
Reg. Quadrática	1	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>	0,0009 <sup>ns</sup>	0,0006 <sup>ns</sup>
Adubação Fosfatada (AF)	1	0,0013 <sup>ns</sup>	0,0000 <sup>ns</sup>	0,0003 <sup>ns</sup>	0,0021 <sup>ns</sup>
AR *AF	4	0,0058 <sup>ns</sup>	0,0011 <sup>ns</sup>	0,0004 <sup>ns</sup>	0,0104 <sup>ns</sup>
Bloco	3	0,0019	0,0000	0,0005	0,0021
Resíduo	27	0,0015	0,0004	0,0001	0,0025
CV%	-	16,13	29,53	21,34	15,92
Média Geral	-	0,24	0,07	0,06	0,3149

<sup>ns</sup>Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste F; \*, \*\* Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Um fator importante a ser considerado é que, talvez o fornecimento de nutrientes pelos tratamentos empregados neste estudo e a absorção desses nutrientes pelas plantas, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio podem ter contribuído para manter o equilíbrio da clorofila a, b, total e carotenoides nas folhas de Moringa aos 90 DAIT. Nesse sentido, pode-se inferir que os nutrientes fornecidos a moringa foram importantes para seu crescimento inicial, porém não influenciaram no teor de pigmentos da planta. Correia *et al.* (2005), relatam que, em especial o nitrogênio, é um dos elementos minerais que mais influencia nos teores de pigmentos nas plantas. A planta com deficiência de N tem seu crescimento prejudicado e suas folhas apresentam como característica principal, coloração amareladas devido à perda da clorofila, refletindo em deficiência no crescimento e em produtividade (TAIZ; ZAIGER, 2013).

O solo bem fertilizado contribui de forma efetiva para crescimento e desenvolvimento na maioria das culturas agrícola Freiburger *et al.* (2013). Enquanto que, a deficiência de nutrientes como o fósforo faz com que o amido se acumule nos cloroplastos, o que reduz a translocação de carboidratos e também prejudica a atividade enzimática que são dependentes da fosforilação, principalmente as que estão diretamente envolvidas na absorção dos nutrientes (MARSCHNER, 1995).

O potássio é mais um nutriente de essencial importância para o equilíbrio dos componentes clorofilados, contribuindo na manutenção de turgescência das folhas dos vegetais, na transposição de açúcares no interior das plantas e no balanço químico e eletrolítico das plantas (FREIBERGER *et al.*, 2013). Portanto, a planta com deficiência em K tem seu crescimento reduzido e, com isso, é reduzido também sua capacidade fotossintética (FERREIRA *et al.*, 2004). Nesse contexto, excessos ou deficiências de nitrogênio, fósforo e potássio podem comprometer a síntese de compostos clorofilados, o que pode alterar os níveis de clorofila A, B, Total e Carotenoides.

#### **4.2 Atributos químicos do solo após o experimento**

A água residuária alterou o potencial hidrogeniônico (pH) do solo, oscilando entre as diferentes concentrações de AR. Estatisticamente os valores de pH partiram de 5,71 com 0% de AR para 5,79; 5,83; 5,62 e 5,16 respectivamente para 25%, 50%, 75% e 100% de AR, constatando que houve maior acidez do solo conforme aumentou a concentração de AR. Nesse sentido, pode-se inferir que as diferentes proporções de água residuária contribuíram para as alterações nos valores de pH do solo, fato que possivelmente está associado às bases e ácidos presentes na água de reuso.

O pH serve como parâmetro para indicar o nível de acidez ou de alcalinidade na água ou no solo, para a água de irrigação, o pH deve estar entre 6,5 e 8,4 para ser considerado como de nível ideal e não desequilibrar a composição química do solo (AYERS; WESTCOT, 1999). De acordo com Knapik (2007), para o substrato, o pH deve estar entre 5,5 a 6,5 para ser considerado como adequado para o cultivo agrícola. Assim, mesmo com as variações observadas de acordo com as proporções de água residuária utilizada neste trabalho, pode-se notar que os valores de pH estão dentro da faixa considerada ideal para as culturas.

Para diminuir ou eliminar a acidez do solo e suas consequências, se faz necessário reduzir as concentrações de Al e Mn além de aumentar o aporte de Ca e Mg (NOVAIS *et al.*, 2007). Para Malavolta (2006), o déficit de fertilidade em solos de acidez elevada se deve principalmente à deficiência em bases trocáveis e, sobretudo, ao alto teor de alumínio e manganês.

Já para o tratamento com adubação fosfatada o pH do solo foi de 5,24 constatando elevada acidez, havendo decréscimo no pH do solo na ordem de 12,8% quando comparados os tratamentos com e sem adubação fosfatada. A diminuição do pH do solo com adubação fosfatada ocorreu provavelmente em virtude da AF ter proporcionado o aumento dos teores

médios de Al+H, tornando o solo mais ácido, pois, quanto maior o teor de alumínio, maior a acidez do solo (ECHART; CAVALLI-MOLINA, 2001).

A tabela 13 apresenta o resumo da análise de variância do solo em função dos tratamentos realizados para o desenvolvimento da *Moringa oleífera*. Não houve efeito significativo da interação entres os fatores água residuária (AR) x adubação fosfatada (AF). Quando estudado os fatores isolados observa-se que a aplicação de água residuária teve influência sobre pH, Na, Al, H+Al, SB, CTC e C.E.es. ao nível de 0,01% pelo teste F. Para a adubação fosfatada houve efeito significativo para pH, P, K, Al, H+Al, C, MO, SB, CTC e V% ao nível de 0,01 e 0,05%, respectivamente pelo teste F. Não foi observado efeito significativo para nenhum dos fatores estudados sobre os teores de Ca, Mg e Ca+Mg do solo.

**Tabela 13** - Resumo da análise de variância para fósforo (P), potássio (K), sódio (Na), cálcio + magnésio (Ca+Mg), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), alumínio (Al), hidrogênio + alumínio (H + Al), carbono (C), matéria orgânica (MO), soma de bases (SB), capacidade de trocas catiônicas (CTC), saturação por bases (V) e condutividade elétrica do extrato de saturação (C.E.es) de solo irrigado com água residuária e adubação fosfatada para o desenvolvimento da cultura da moringa.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio				
			P	K	Na	Ca+Mg
		mgdm <sup>-3</sup>			cmolc dm <sup>-3</sup>	
Água Residuária (AR)	4	196,38 <sup>ns</sup>	6001,25 <sup>ns</sup>	0,07 <sup>**</sup>	0,15 <sup>ns</sup>	
Reg. Linear	1	0,80 <sup>ns</sup>	271,73 <sup>ns</sup>	0,27 <sup>**</sup>	0,03 <sup>ns</sup>	
Reg. Quadratica	1	0,18 <sup>ns</sup>	7628,57 <sup>ns</sup>	0,002 <sup>ns</sup>	0,20 <sup>ns</sup>	
Adubação Fosfatada (AF)	1	26615,59 <sup>**</sup>	26531,87 <sup>**</sup>	0,004 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	
AR *AF	4	149,94 <sup>ns</sup>	7786,87 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>ns</sup>	0,08 <sup>ns</sup>	
Bloco	3	227,66	2245,60	0,020	0,46	
Resíduo	27	244,10	2265,90	0,007	0,10	
CV%	-	29,52	39,98	38,00	9,72	
Média Geral	-	39,53	119,07	0,23	3,32	
Fonte de Variação		Quadrado médio				
		Ca	Mg	Al	H+Al	C
		cmolc dm <sup>-3</sup>				gkg <sup>-1</sup>
Água Residuária (AR)		0,055 <sup>ns</sup>	0,11 <sup>ns</sup>	0,005 <sup>**</sup>	0,29 <sup>**</sup>	0,27 <sup>ns</sup>
Reg. Linear		0,07 <sup>ns</sup>	0,007 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>**</sup>	0,67 <sup>**</sup>	0,32 <sup>ns</sup>
Reg. Quadratica		0,03 <sup>ns</sup>	0,071 <sup>ns</sup>	0,003 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,26 <sup>ns</sup>
Adubação Fosfatada (AF)		0,12 <sup>ns</sup>	0,0029 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>**</sup>	14,86 <sup>**</sup>	2,27 <sup>*</sup>
AR *AF		0,030 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>	0,001 <sup>ns</sup>	0,04 <sup>ns</sup>	0,13 <sup>ns</sup>
Bloco		0,54	1,93	0,007	0,18	4,05
Resíduo		0,04	0,07	0,001	0,03	0,42
CV%		12,04	17,04	46,44	6,43	8,49
Média Geral		1,69	1,63	0,073	3,08	7,68
Fonte de Variação		Quadrado médio				
		MO	SB	CTC	V	C.E.es
		gkg <sup>-1</sup>	%			dSm <sup>-1</sup>

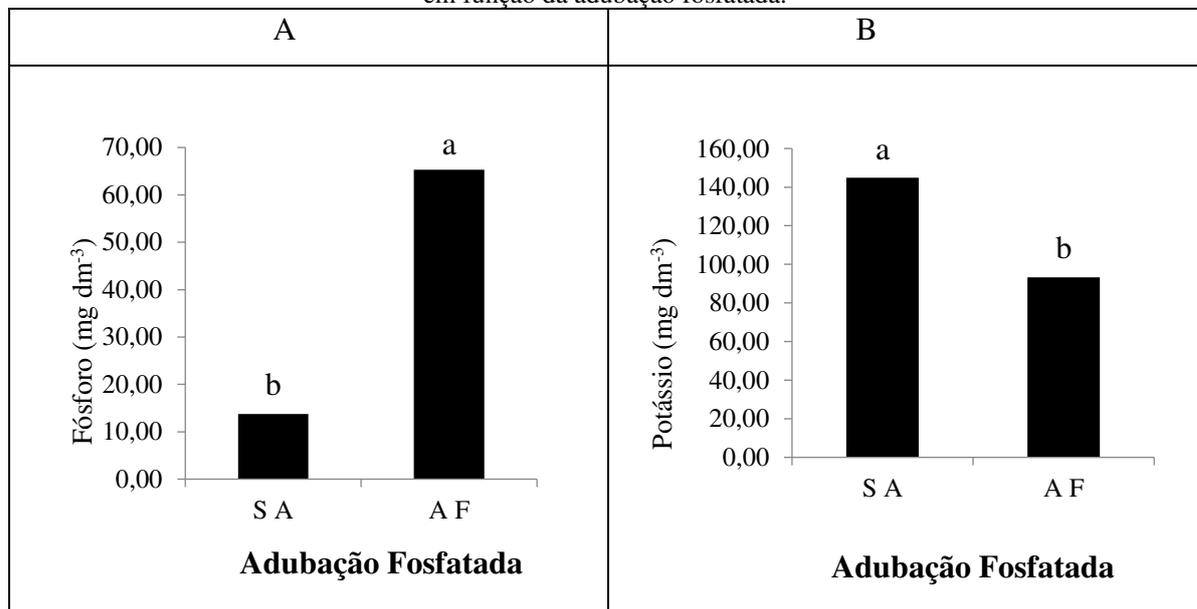
Água Residuária (AR)		0,81 <sup>ns</sup>	0,42 <sup>*</sup>	1,02 <sup>**</sup>	11,03 <sup>ns</sup>	0,98 <sup>**</sup>
Reg. Linear		0,96 <sup>ns</sup>	0,57 <sup>*</sup>	2,49 <sup>**</sup>	2,24 <sup>ns</sup>	2,46 <sup>**</sup>
Reg. Quadrática		0,79 <sup>ns</sup>	0,38 <sup>ns</sup>	0,16 <sup>ns</sup>	3,54 <sup>ns</sup>	0,77 <sup>**</sup>
Adubação Fosfatada (AF)		6,76 <sup>*</sup>	0,51 <sup>*</sup>	9,83 <sup>**</sup>	1249,53 <sup>**</sup>	0,12 <sup>ns</sup>
AR *AF		0,40 <sup>ns</sup>	0,01 <sup>ns</sup>	0,10 <sup>ns</sup>	1,92 <sup>ns</sup>	0,09 <sup>ns</sup>
Bloco		12,05	0,19	0,02	38,85	0,08
Resíduo		1,26	0,11	0,17	6,62	0,09
CV%		8,49	8,91	6,00	4,60	42,93
Média Geral		13,25	3,86	6,94	55,98	0,73

<sup>ns</sup>Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade, pelo teste F; \*, \*\* Significativo em nível de 0,05 e 0,01 de probabilidade, respectivamente, pelo teste F

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Ao avaliar o efeito da adubação fosfatada sob os tores de fósforo e potássio no solo (Figura 19A e 19B), percebe-se que houve diferença significativa ao nível de 0,05% de probabilidade pelo teste de Tukey, quando se comparou o solo sem adubação fosfatada com o solo adubado com o fósforo.

**Figura 19** - Valores médios de fósforo (P) (A) e potássio (K) (B) em ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo cultivado com Moringa em função da adubação fosfatada.



Letras iguais nas barras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Para o teor de fósforo em  $\text{mg dm}^{-3}$ , constata-se que quando se forneceu a adubação fosfatada o teor de fósforo no solo foi superior ao solo sem adubação fosfatada, fato que já era de se esperar, uma vez que o aporte deste elemento no solo é maior quando se aplica o fósforo via água residuária tratada por meio de fertirrigação, sendo que o aporte de fósforo no solo ao final do experimento nos tratamentos com adubação fosfatada foi de  $65,33 \text{ mg dm}^{-3}$ , enquanto que nos tratamentos sem adubação fosfatada chegou apenas a  $13,74 \text{ mg dm}^{-3}$ , apresentando um

incremento percentual de 375,4% quando comparados os dois tratamentos (Figura 19A). Esse aporte de fósforo ofertado pela adubação fosfatada é benéfico para as culturas, pois não se aproxima de valores considerados muito altos para as plantas que segundo Raij *et al.*, (2001), são teores que ultrapassam de 120 mg dm<sup>-3</sup>.

Cabe destacar que, de acordo com a tabela 3 do presente estudo, houve um pequeno decréscimo no teor de P no solo, sendo 14,16 mgdm<sup>-3</sup> antes do início dos tratamentos e, 13,74 mg dm<sup>-3</sup> no final do ciclo neste experimento. Essa redução no teor de fósforo no solo está associada à absorção desse elemento pela cultura, o que contribuiu para a sua concentração nas folhas da moringa.

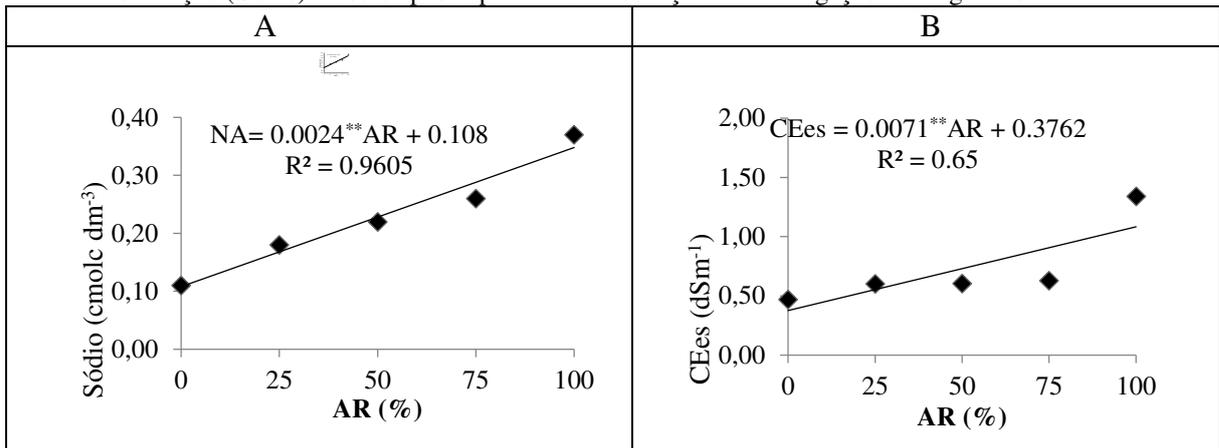
Resultados estes que vão de encontro aos obtidos por, Duarte *et al.* (2008) uma vez que concluíram que, a água residuária não incrementou aporte significativo de fósforo no solo comparando com o que já existia antes do experimento. No entanto, há de se considerar que durante o experimento houve a absorção de fósforo pelas plantas demonstrado em seu crescimento e desenvolvimento, para que não haja uma interpretação errada sobre os efeitos da AR na irrigação agrícola (FORTES NETO *et al.*, 2013).

Para o fator adubação fosfatada sobre o teor de potássio no solo, observa-se diferença significativa ao nível de 5% pelo teste de Tukey (Figura 19B), evidencia-se que no solo sem adubação fosfatada obteve maiores valores de potássio no solo (144,33 mgdm<sup>-3</sup>), quando comparada ao teor de potássio no solo submetido ao tratamento com aplicação de adubo fosfatado via fertirrigação (93,32 mgdm<sup>-3</sup>). É possível observar um aumento de 35,6% quando não foi realizada adubação fosfatada. Possivelmente este resultado está atrelado ao fato de que, quando se aporta fósforo no solo, ele interage com a matriz do solo e influencia na absorção de potássio pelas plantas.

Fortes Neto *et al.* (2013) aponta estudos que corroboram com estes resultados, mostrando que a água residuária incrementou um aporte de K significativo no solo. Outro fator importante a destacar é que a adubação mineral foi realizada em dose única, enquanto que a irrigação com AR foi contínua, considerando por tanto que as plantas com o passar do tempo absorveram parte do potássio presente no solo, então não houve reposição desse nutriente com o tratamento sem água residuária.

Houve diferença significativa entre os teores médios de sódio no solo ao final do experimento em relação aos tratamentos com diferentes proporções de água residuária. Observa-se na figura 20A, que o modelo matemático que melhor se ajustou foi a regressão linear crescentes, aumentando em 236% os teores de sódio no solo quando comparou-se o tratamento de 0% de AR ao de 100% de AR.

**Figura 20** - Valores médios de sódio (Na) em (cmolc dm<sup>-3</sup>) e condutividade elétrica (dS m<sup>-1</sup>) do extrato de saturação (CE.es) no solo após experimento em função da fertirrigação com água residuária.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Cabe salientar ainda que na proporção de 100% de água residuária foi onde se obteve os maiores teores de sódio, correspondendo a 0,34 (cmolc dm<sup>-3</sup>) (Figura 20A). Nessas concentrações, o sódio pode influenciar na deficiência ou no excesso de minerais importantes para as plantas, o que requer maior cautela na proporção de água residuária para a irrigação agrícola. Como ficou demonstrado nos estudos de Ribeiro (2014) que para incorporar de 30 a 120 kg ha<sup>-1</sup> de potássio via água de esgoto sanitário tratado, possibilitaram o acúmulo de 51,3 a 202,2 kg ha<sup>-1</sup> de sódio na solução do solo para a cultura do milho.

De acordo com Oliveira *et al.* (2013) o efeito direto do sódio no solo ocorre quando o excesso de sódio é advindo da água de irrigação e o indireto quando o excesso de sódio trocável no solo provoca condições físicas desfavoráveis para o crescimento da planta ocorrendo em virtude da redução da mineralização do nitrogênio. O excesso de sódio no solo tende a provocar condições adversas no crescimento e desenvolvimento das plantas e principalmente no desenvolvimento do sistema radicular, podendo ser afetado direto ou indiretamente (DIAS; BLANCO, 2010).

Ao analisar a condutividade elétrica do extrato de saturação em função das diferentes proporções de água residuária (AR) (Figura 20B) constata-se que à medida que se elevou a proporção de água residuária se incrementou positivamente a condutividade elétrica do extrato de saturação, saindo da proporção 0% de AR, correspondendo a uma condutividade de 0,47 dS m<sup>-1</sup> para a proporção de 100% de AR, correspondendo a 1,34 dS m<sup>-1</sup>, um aumento observado na CE.es de 185,1% (Figura 20B). Sendo que a maior diferença observada foi na proporção de 75% de AR para 100% de AR. Os valores de CE aumentam na medida em que as concentrações de sais se elevam.

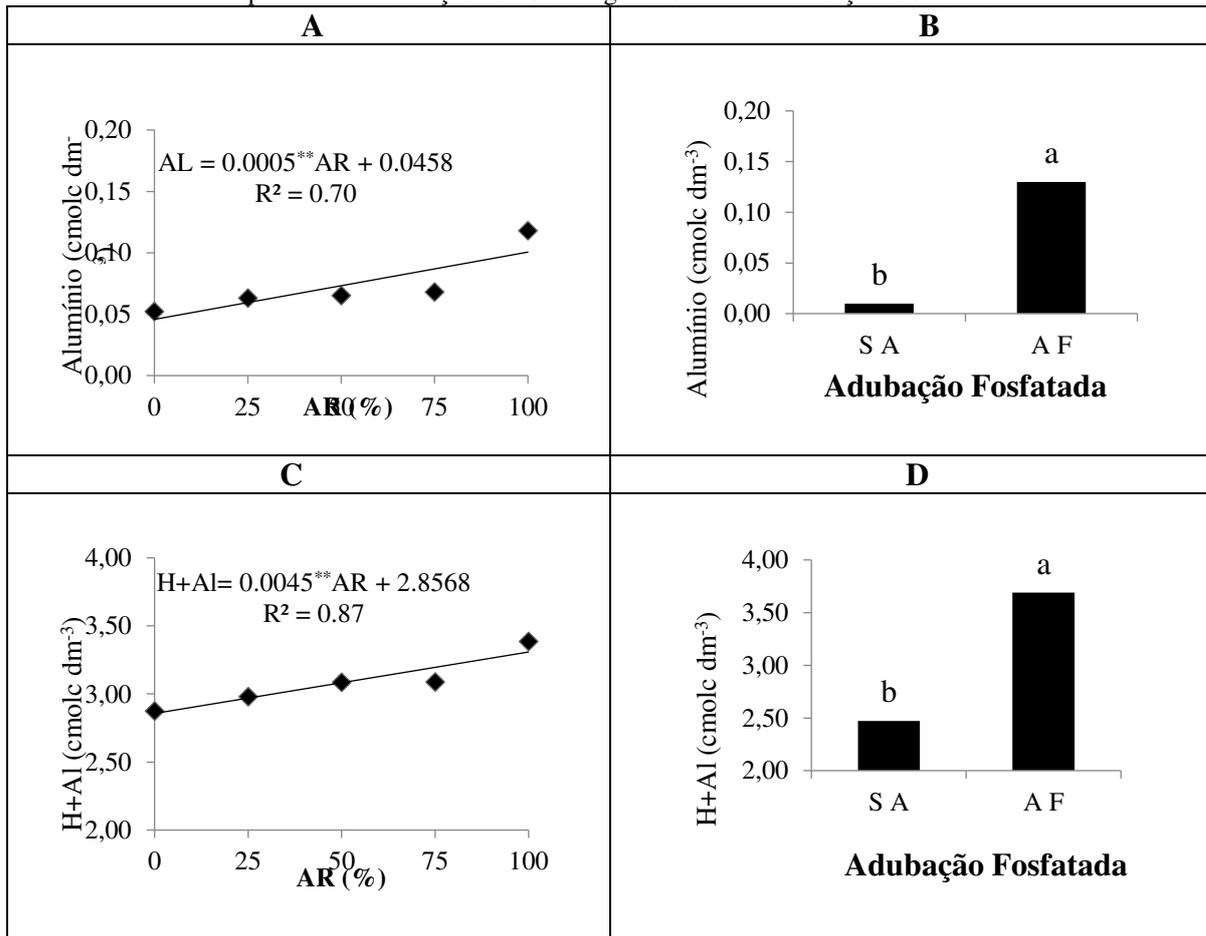
Seguindo o que recomendam Ayers e Westcot (1999), a água utilizada na irrigação não pode apresentar valores de condutividade elétrica superiores a  $0,7 \text{ dSm}^{-1}$  onde aumentaria o grau de restrição dessa água na irrigação agrícola. Contudo, as águas utilizadas para este experimento ultrapassaram os valores de recomendação, sendo  $1,5 \text{ dS m}^{-1}$  para a água residuária da fonte (EXTRABES) e  $1,0 \text{ dSm}^{-1}$  para a água residuária da fonte (INSA) conforme análise química das águas utilizadas no experimento (Tabela 3) justificando assim os resultados obtidos para a análise da condutividade elétrica do estrato de saturação do solo após o ciclo da cultura.

Na visão de Sandri *et al.* (2009) a lixiviação de sais no solo pode influenciar na condutividade elétrica. Ao avaliar a lixiviação de nutrientes de águas residuária, Caovilla *et al.* (2005) notaram que os nutrientes nitrato, potássio e sais totais tiveram maior mobilidade no perfil do solo.

De acordo com Ribeiro *et al.* (2004), a CE.es é o parâmetro mais utilizado quando se deseja avaliar o índice de salinidade tanto na água para a irrigação quanto na solução do solo, onde, o aumento da CE.es é proporcional ao aumento da salinidade como demonstrado na figura 20B. Tais resultados não favorecem a cultura, uma vez que, o solo salinizado está susceptível ao aporte desordenado de nutrientes, alterando a composição dos minerais e provocando um antagonismo na relação entre os nutrientes e as plantas, fazendo com que haja uma redução no crescimento e desenvolvimento da cultura (LEONARDO *et al.*, 2008).

Para a variável alumínio no solo em função das diferentes proporções de água residuária, observa-se que o modelo matemático que melhor se ajustou foi o linear, evidenciando que quando se elevou a proporção de água residuária aumentou o teor de alumínio do solo (Figura 21A). Observa-se ainda uma variação de  $0,052 \text{ cmolc dm}^{-3}$  (0% de AR) a  $0,118 \text{ cmolc dm}^{-3}$  (100% AR) com incremento percentual na ordem de 126,9%. Este fato se deve provavelmente aos teores de alumínio que se faziam presentes na composição da água residuária. De acordo com Lima *et al.* (2007) o alumínio passa a ser tóxico no solo principalmente quando o pH do solo é inferior a 5,3, e nessas condições, o alumínio elevado a níveis tóxicos passa a ser prejudicial para o crescimento dos vegetais ao interferir no crescimento das raízes das plantas que, por consequência, limitam a exploração dos nutrientes no solo. Este estudo, o pH do solo irrigado com 100% de AR foi de 5,1 reforçando a tese de que a água residuária em alta proporção pode provocar toxicidade no solo.

**Figura 21** - Valores médios de alumínio (Al) e acidez potencial (H+Al) em (cmolc dm<sup>-3</sup>) do solo após o experimento em função do uso de água residuária e adubação fosfatada.



Letras iguais nas barras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Os teores de alumínio no solo em função da adubação fosfatada encontram-se na figura 21B. Houve diferença significativa ao nível de 0,05% de probabilidade pelo teste de Tukey, assim, quando se adubou com fósforo aumentou também o teor de alumínio (0,13 cmolc dm<sup>-3</sup>) se elevando em 1200% em relação ao tratamento sem adubação fosfatada (0,01 cmolc dm<sup>-3</sup>) (Figura 21B). O que contraria a afirmação de Santos *et al.* (2006) justificando que em detrimento da maior concentração de cátions trocáveis na solução do solo em função da adubação e irrigação com água residuária, o teor de alumínio trocável tende a diminuir. Contudo, outros fatores contribuem para o aumento no teor de alumínio e acidez potencial no solo como, o baixo teor de matéria orgânica e também em solos com deficiência em bases trocáveis (LIMA *et al.*, 2007). Novais *et al.* (2007) afirmam que o alumínio na forma de cátion trivalente (Al<sup>3+</sup>) é o um dos elementos principais na promoção de efeito fitotóxico em solos ácidos.

O alumínio é um dos elementos que mais influencia nas respostas reduzidas do rendimento das culturas agrícolas prejudicando a condutibilidade hidráulica das raízes das plantas, causando injúria e afetando a fluidez da membrana plasmática, alterando a composição química dos lipídios na membrana em ligações envolvendo os fosfolipídios (ECHART; CAVALLI-MOLINA, 2001).

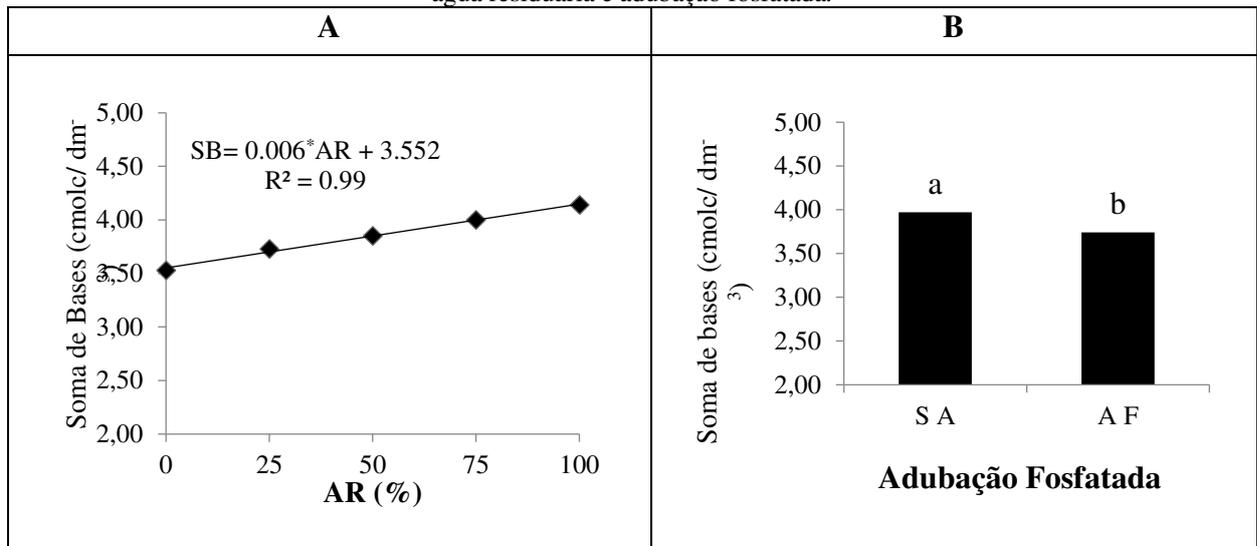
Observa-se na figura 21C o comportamento linear crescente nas concentrações da acidez potencial (H+Al) do solo fertirrigado com água residuária, apresentando aumento percentual de 17,7% quando comparado a menor e a maior concentração de água residuária. Ayers e Westcot (1999) afirmam que os elementos químicos presentes na água residuária são fatores limitantes para o uso agrícola devido às concentrações de sais dissolvidos e íons tóxicos. Hespanhol *et al.* (2002) alertam que a irrigação com água residuária por tempo prolongado pode acumular substâncias tóxicas de natureza orgânica e inorgânica fazendo aumentar o teor de sais no solo. A respeito, Medeiros *et al.* (2005) denotam que o teor de acidez potencial no solo varia de acordo com sua composição química, ao verificar as alterações químicas no solo irrigado com água residuária, esses autores observaram uma variação dos elementos (H + Al) devido a presença de sulfato de amônio e o aumento no teor de H<sup>+</sup>, alterando os cátions trocáveis (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> e Na<sup>+</sup>) em função das propriedades químicas existentes na água residuária.

Quando se analisou, os teores de H+Al no solo, observou-se diferença significativa ao nível de 0,05% pelo teste de Tukey, sendo que o tratamento com aplicação de adubação fosfatada obteve a maior média quando comparada ao tratamento sem adubação fosfatada, correspondendo a uma diferença de 49,3%. Figura 21D.

Ros *et al.* (2019) verificaram que a aplicação da adubação fosfatada alterou para menos a acidez potencial de 6,0 para 4,4. Para Sousa e Lobato (2003) a acidez do solo juntamente com a textura e mineralogia do solo afetam a disponibilidade do fósforo e comprometem sua eficiência. Estudando os efeitos da adsorção de fósforo no solo, Guilherme *et al.* (2000) verificaram que o teor de H + Al tiveram interação com a capacidade máxima de adsorção de fósforo tendo relação com o aumento da capacidade de retenção do Fe<sup>2+</sup> concluindo que a acidez potencial é um atributo que tem relação direta com a capacidade máxima de adsorção além do efeito tampão do fósforo no solo estudado.

A soma de bases foi crescente com aumento da proporção de água residuária de água aplicada via fertirrigação. O solo com (zero) 0% de água residuária apresentou médias de 3,53 gkg<sup>-1</sup> já o solo fertirrigado com 100% de água residuária obteve médias de 4,14 gkg<sup>-1</sup> tendo um incremento percentual na ordem de 17,2% (Figura 22A).

**Figura 22** - Valores médios da soma de bases (SB) em (cmolc dm<sup>-3</sup>) do solo em função da fertirrigação com água residuária e adubação fosfatada.



Letras iguais nas barras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

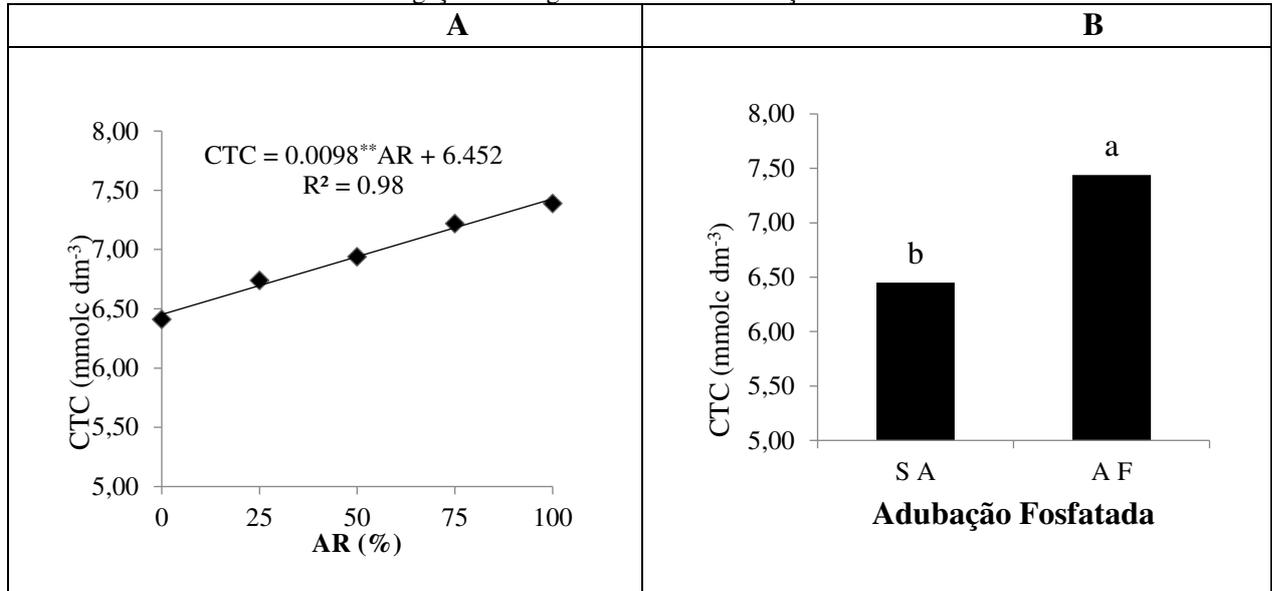
Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Quanto à soma de bases (SB) em função da água residuária na irrigação observa-se, na figura 22A, um aumento da SB proporcional ao aumento da concentração de AR no solo, chegando ao valor de (4,14 cmolc dm<sup>-3</sup>) aos 100% de AR em virtude da capacidade de troca de cátions (CTC) do solo em função da água residuária aplicada, conforme demonstrado neste estudo (Figura 23A). Esse valor de SB pode ser considerado de médio a bom de acordo com Alvarez *et al.* (1999) que consideram (SB = 1,81 a 6 cmolc dm<sup>-3</sup>) de médio a bom. Ao encontrar resultados semelhantes utilizando esterco líquido de suínos no cultivo de gramíneas, Queiroz *et al.* (2004) alegou ser devido ao aumento no teor de potássio e diminuição do pH, aumentando a saturação de bases e o teor de alumínio no solo.

Quando da aplicação de adubação fosfatada houve um decréscimo no aporte de soma de bases no solo na ordem de 5,7% quando comparado ao solo sem adubação fosfatada em relação ao solo adubado (Figura 22B). Isso pode ser atribuído a maior acidez no solo submetido ao tratamento com adubação fosfatada (5,24) e a maior concentração de H + Al (49,3%) no tratamento com adubação fosfatada, conforme demonstrada na figura 21B, inferindo assim, na diminuição dos valores de SB, CTC e V, o que reflete na perda de fertilidade do solo.

Os teores da capacidade de troca de cátions - CTC do solo ao final do experimento apresentaram valores crescentes para os tratamentos com diferentes proporções de água residuária, variando de 6,41 a 7,39 (mmolc dm<sup>-3</sup>) nos tratamentos com 0 e 100% de AR, obtendo incremento na ordem de 15,3% (Figura 23A).

**Figura 23** - Valores médios da capacidade de trocas catiônicas (CTC) em ( $\text{mmolc dm}^{-3}$ ) do solo em função da fertirrigação com água residuária e adubação fosfatada.



Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

Os tratamentos com água residuária mostraram valores crescentes de capacidade de troca de cátions, com aumento proporcional na maior concentração de AR (Figura 23A), fato que reforça a importância da AR para a fertirrigação de solos agrícolas. A CTC tem relação direta com a reserva de nutrientes no solo, assim, quanto maior for a capacidade de troca de cátions, mais o solo será capaz de reter os cátions em formas assimiláveis pelas plantas favorecendo o seu desenvolvimento (NOVAIS *et al.*, 2007).

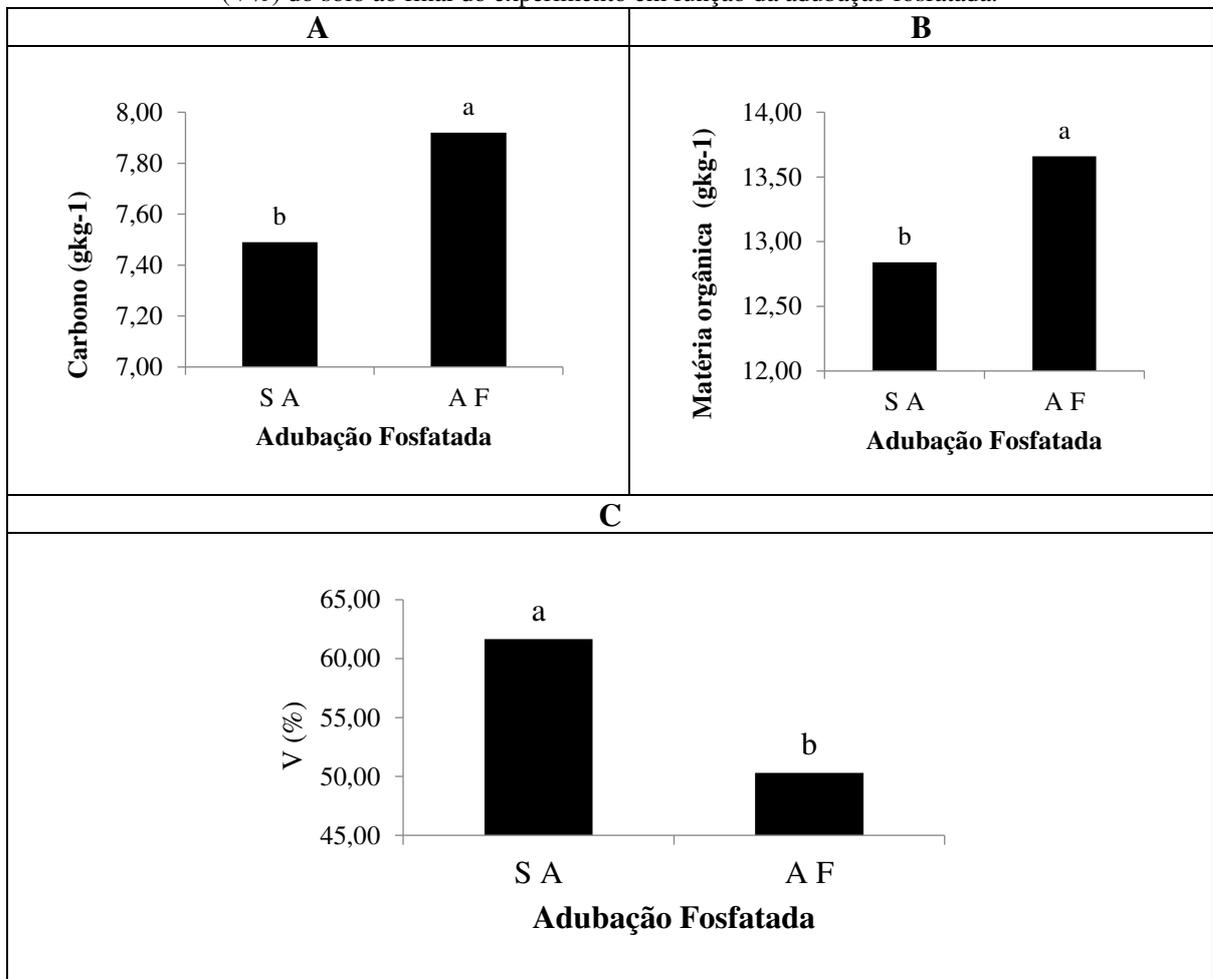
A capacidade de troca de cátions do solo é formada pela composição de cátions essenciais que são os elementos considerados bases, e os cátions potencialmente tóxicos a exemplo do H+Al, a partir desses parâmetros tende-se a determinar a nutrição do solo. A elevação da CTC para as diferentes proporções de AR pode ser atribuída ao aumento dos teores de H+Al bem como a soma de bases presentes nos coloides do solo (RONQUIM, 2010).

Fortes Neto *et al.* (2013) estudando as alterações químicas do solo fertirrigado com água residuária doméstica tratada, verificaram aumento na CTC em função da AR na irrigação e a CTC aumentada faz com que o solo tenha sua fertilidade mais enriquecida RAIJ *et al.* (2001). Nos estudos de Santos *et al.* (2018) ao verificar o impacto dos efluentes doméstico tratado na irrigação do solo no cultivado do quiabo, perceberam aumentos no nível da CTC nos tratamentos com 50% e 100% de efluente doméstico.

Para o fator adubação fosfatada (Figura 23B), observa-se um aumento de 15,3% da CTC quando comparados os tratamentos sem adubação fosfatada. Neste caso, o aumento da CTC do solo foi influenciado pela quantidade dos teores de H+Al oriundo da adubação fosfatada, visto que os teores de bases presentes no solo que não foi submetido à adubação fosfatada foram maiores do que as do solo com AF, isso explica a tendência de o pH do solo ter diminuído quando submetido adubação fosfatada.

O carbono orgânico e a matéria orgânica apresentaram maiores valores no solo com adubação fosfatada do que sem a adubação fosfatada. O incremento no aporte desses elementos no solo foi de 5,74 e 6,38% respectivamente para carbono orgânico (C) e a matéria orgânica (MO) (Figura 24A e 24B).

**Figura 24** - Valores médios de carbono (C) em ( $\text{gkg}^{-1}$ ), materia organica (MO) em ( $\text{gkg}^{-1}$ ) e saturação por bases (V%) do solo ao final do experimento em função da adubação fosfatada.



Letras iguais nas barras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 0,05 de probabilidade.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2020.

No tocante ao teor de carbono - C em  $\text{gkg}^{-1}$  (Figura 24A) observa-se maior concentração no tratamento com adubação fosfatada ( $7,92 \text{ gkg}^{-1}$ ) em comparação ao tratamento sem

adubação fosfatada ( $7,49 \text{ gkg}^{-1}$ ). Provavelmente, o carbono nos tratamentos sem adubação fosfatada tenha mineralizado de forma mais rápida. As principais formas de perda de carbono orgânico do solo são a liberação de  $\text{CO}_2$  pela respiração, por meio da decomposição dos resíduos e da matéria orgânica do solo pelos microrganismos, e pela perda de componentes da matéria orgânicos via lixiviação e erosão do solo dependendo da prática de manejo do solo (MIELNICZUK, 1999).

Primieri *et al.* (2017) reportam que o aporte de carbono no solo são controladas de acordo com a taxa de decomposição do carbono orgânico do solo que são diretamente afetadas pelo manejo a que o solo está sendo submetido, alterando a quantidade e também a qualidade do carbono e suas vias de acesso. Por meio da matéria orgânica, existe a atividade biológica no solo e, por consequência dessa atividade, existem elementos essenciais às plantas como o carbono e o nitrogênio (RAIJ *et al.*, 2001). Segundo Resende *et al.* (2016) o carbono - C em boa concentração é um fator que está sempre associado com bons níveis de fertilidade do solo. Duarte *et al.* (2008) afirmam que o C contribui para a formação e reprodução da biota do solo fazendo com que o nitrogênio orgânico seja transformado em nitrogênio assimilável às plantas. Em concentrações adequadas, o C auxilia na absorção de água pelo solo, contribui para a penetração das raízes das plantas no solo dando maior resistência às plantas (SCHNEIDER 2020).

Assim como o carbono, para o teor de matéria orgânica em  $\text{gkg}^{-1}$  (Figura 24B) também se observa maior concentração no tratamento com adubação fosfatada ( $13,63 \text{ gkg}^{-1}$ ) em comparação ao tratamento sem adubação fosfatada ( $12,82 \text{ gkg}^{-1}$ ), provavelmente causada pela rápida mineralização dos nutrientes presentes na água residuária.

A matéria orgânica é fonte de energia para os microrganismos, de forma que a bioestrutura granular aumenta a capacidade de conservar a umidade, reter e fixar o fósforo e o nitrogênio, aumentar a capacidade de troca de cátions (CTC), além de ajudar na retenção do potássio, cálcio e magnésio, dentre outros nutrientes disponíveis para as raízes da planta (PRIMAVESI, 2002). É de se considerar que a matéria orgânica é o mais importante indicador da fertilidade do solo, por tanto, proporcionar a manutenção ou o aumento da matéria orgânica são condições fundamentais para a conservação da fertilidade do solo (NOVAIS *et al.*, 2007).

Avaliando as alterações químicas do solo irrigado com água residuária, Sandri *et al.* (2009) observaram que houve aumento de 19% na matéria orgânica do solo utilizando o efluente doméstico tratado. Medeiros *et al.* (2005) avaliando as alterações químicas do solo em função da água residuária na irrigação, verificaram aumento na concentração de matéria orgânica e outros nutrientes. Santos *et al.* (2018) observaram aumento no teor de matéria

orgânica em função da irrigação com AR, onde os valores aumentaram de 9,5 g/dm<sup>3</sup> antes da aplicação da AR e chegando a 12,5 g/dm<sup>3</sup> após a aplicação da água residuária. Dias *et al.* (2013) perceberam um acúmulo de matéria orgânica no valor de 1% em um Cambissolo utilizando 50% de água residuária, refletindo em 14,8% a mais que o tratamento testemunha.

Com relação à saturação por bases (V%), o solo que não foi adubado com fonte de fósforo apresentou maior V% (61,67%) em relação ao solo adubado com fósforo (50,29%) (Figura 24C), com decréscimo na V% do solo na ordem de 18,4% com adubação fosfatada. Este decréscimo da V% está intimamente relacionado a CTC do solo, uma vez que a mesma apresentou maiores teores de H+Al do que os teores de bases trocáveis do solo. No estudo em questão, observa-se que a adição de fósforo na quantidade utilizada não contribuiu para o aumento da fertilidade do solo, uma vez que a porcentagem de saturação inicial antes do experimento foi de 60%. De acordo com Alvarez *et al.*, (1999) a V% considerada boa varia de (60,1 a 80,0 cmolc dm<sup>-3</sup>), quanto menor a porcentagem de saturação, menor será a soma de bases encontradas nos colóides do solo e conseqüentemente o solo apresentará menos fertilidade.

A saturação por base é um excelente indicativo das condições de fertilidade do solo sendo por sua vez utilizada como complemento da nomenclatura dos solos classificando-os como eutrófico (solos com V% maior ou igual a 50%) e distrófico (menor que 50%) (RONQUIM, 2010). Aumentos na saturação por bases (V%) também foram observados por Fortes Neto *et al.* (2013) e Fonseca *et al.* (2005) com o uso de água residuária doméstica tratada na irrigação. Santos *et al.* (2018) argumentam que de forma geral, os valores aumentados de CTC e de V% no solo irrigado com água residuária se devem aos considerados níveis de íons e colóides orgânicos concentrados na água residuária.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram alguns efeitos relevantes dos tratamentos realizados sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura e nos parâmetros químicos do solo cultivado.

Os resultados mais expressivos nos parâmetros avaliados em função da água residuária doméstica tratada foram obtidos com as concentrações entre 75% e 100% de AR.

O tratamento com adubação fosfatada influenciou positivamente em todos os parâmetros de crescimento da Moringa.

Nenhum dos tratamentos realizados afetou os teores Clorofila A, Clorofila B, Total e Carotenoides nas folhas da *Moringa oleífera* aos 90 dias após o início dos tratamentos.

A adubação fosfatada influenciou no teor de N e P na parte aérea da Moringa. Já a água residuária influenciou no teor de N, P e K.

A adubação fosfatada demonstrou efeito significativo sobre a taxa de crescimento absoluto e relativo em altura das plantas. A irrigação com água residuária influenciou apenas na taxa de crescimento absoluto.

Houve influência dos tratamentos realizados sobre a produção de matéria fresca e matéria seca na parte aérea das plantas, assim como na taxa de crescimento absoluto e relativo da matéria fresca e seca da parte aérea das plantas.

Os tratamentos água residuária e adubação fosfatada tiveram interferência direta na relação raiz / parte aérea das plantas, porém, a interação entre esses fatores não interferiu na relação raiz / parte aérea das plantas.

Os tratamentos realizados proporcionaram alterações químicas no solo (planossolo háplico), alterando os teores dos elementos avaliados.

Como sugestões para futuras pesquisas, recomenda-se fazer análises criteriosas da água antes de fazer uso na irrigação agrícola, considerando que determinadas substâncias químicas podem estar em maior ou menor concentração dependendo da origem da água residuária, bem como observando as recomendações estabelecidas para o uso específico das diferentes classes de água.

Como contribuição a presente pesquisa constatou que o uso da água residuária doméstica tratada na irrigação agrícola é viável e mostrou-se até certo ponto ser vantajoso para a cultura. Contudo, sua utilização demanda cautela em função da sua interação com outros componentes na solução do solo.

## REFERÊNCIAS

AGENDA 21. The Earth Summit Strategy to save our Planet. Ed. Daniel Sitarz, Earthpress, 321 pp., Boulder Colorado. 1994.

AHMAD, S. *et al.* Effect of *Moringa oleifera* (Lam.) pods as feed additive on egg antioxidants, chemical composition and performance of commercial layers. **South African Journal of Animal Science**, v. 47, n. 6, p. 864-874, 2017.

ALABI, O. J. *et al.* Effect of aqueous *Moringa oleifera* (Lam) leaf extracts on growth performance and carcass characteristics of Hubbard broiler chicken. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 19, n. 2, p. 273-280, 2017.

ALBUQUERQUE, F. S. *et al.* Crescimento e rendimento de pimentão fertirrigado sob diferentes lâminas de irrigação e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 686-694, 2011.

- ALMEIDA, L. H. C. *et al.* Silício e disponibilidade de fósforo no crescimento e desenvolvimento de mudas de café. **Cultura Agrônômica: Revista de Ciências Agrônômicas**, v. 26, n. 2, p. 123-131, 2017.
- ALMEIDA, M. S. M. ***Moringa oleifera* Lam., seus benefícios medicinais, nutricionais e avaliação de toxicidade**. 2018. Dissertação de Mestrado. Universidade de Coimbra. Disponível em: <https://estudogeral.sib.uc.pt/handle/10316/84557>. Acesso em: 10 jan.2020.
- ALMEIDA, R. G. Aspectos legais para a água de reúso. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes, v. 13, n. 2, p. 31-43, 2011.
- ALVAREZ, R. C. F. *et al.* Análise de crescimento e produtividade de cultivares de arroz de terras altas dos tipos tradicional, intermediário e moderno. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, n. 4, p. 397-406, 2012.
- ALVAREZ, V. V. H. *et al.* Interpretação dos resultados das análises de solos. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, v. 5, p. 25-32, 1999.
- ANDRADE, F. H. A. *et al.* Effect of phosphorus application on substrate and use of saline water in sugar-apple seedlings. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 2, p. 190-199, 2018.
- ANDRADE, L. O. *et al.* Morfometria de plantas de girassol ornamental e atributos químicos de um solo irrigado com água residuária e adubado com esterco. **Científica**, v. 43, n. 3, p. 268-279, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
- AUGUSTO, D. C. C. *et al.* Utilização de águas residuárias provenientes do tratamento biológico de esgotos domésticos na produção de mudas de *Eucalyptus grandis* Hill. Ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 745-751, 2007.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. “Water Quality for Agriculture”. **FAO. Tradução HR Ghery e JF de Medeiros, UFPB. Campina Grande–PB**, 1999.
- BADEJO, A. A. *et al.* Analyses of dietary fibre contents, antioxidant composition, functional and pasting properties of plantain and *Moringa oleifera* composite flour blends. **Cogent Food & Agriculture**, v. 3, n. 1, p. 1278871, 2017.
- BARRETO, M. B. *et al.* Constituintes químicos voláteis e não voláteis de *Moringa oleifera* Lam., Moringaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Fortaleza, v. 19, n. 4, p. 893-897, 2009.
- BARROSO, D. G. *et al.* Diagnóstico de deficiências de macronutrientes em mudas de teca. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.5, p.671-679, 2005.

- BATISTA, A. A. *et al.* Qualidade dos frutos de mamoeiro produzidos com esgoto doméstico tratado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 70-80, 2017.
- BAYUELO-JIMÉNEZ, J. S. *et al.* Variação genotípica para características de raízes de milho (*Zea mays* L.) do Planalto Purhepecha sob disponibilidade de fósforo contrastante. **Field Crops Research**, v. 121, n. 3, pág. 350-362, 2011.
- BENINCASA, M.M.P. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). Jaboticabal: Funep. 2003. 42p.
- BEZERRA, B. G.; FIDELES FILHO, J. Análise de crescimento da cultura do algodoeiro irrigada com águas residuárias. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 3, p. 339-345, 2009.
- BEZERRA, M. A. F. *et al.* Cultivo de feijão-caupi em Latossolos sob o efeito residual da adubação fosfatada. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 1, p. 109-115, 2014.
- BORGES, S. A. *et al.* Qualidade da água de irrigação na cultura do tomate de mesa no município de Goianápolis-GO. **Multi-ScienceJournal**, v. 1, n. 2, p. 74-82, 2018.
- BOVI, M.L.A.; SPIERING, S.H.; BARBOSA, A.M.M. Densidade radicular de progênies de pupunheira em função de adubação NPK. **Horticultura Brasileira**, v.17, n.3, p.186-193, 1999.
- BRASIL, PAN. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Recursos Hídricos, 2004.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 08 set.2019.
- BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Resolução nº 54/2005. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%2054.pdf>. Acesso em: 08 set.2019.
- BRASIL. NBR 13969 / Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. 1997. Disponível em: [http://acguasana.com.br/legislacao/nbr\\_13969.pdf](http://acguasana.com.br/legislacao/nbr_13969.pdf). Acesso em: 08 set.2019.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas – ANA. Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil - Brasília: ANA, 2019. Disponível em: [file:///C:/Users/724429/Downloads/ANA\\_Manual\\_de\\_Usos\\_Consuntivos\\_da\\_Agua\\_no\\_Brasil.pdf](file:///C:/Users/724429/Downloads/ANA_Manual_de_Usos_Consuntivos_da_Agua_no_Brasil.pdf). Acesso em: 05 set.2019.
- BRILHANTE, R. S. N. *et al.* Research advances on the multiple uses of *Moringa oleifera*: A sustainable alternative for socially neglected population. **Asian Pacific journal of tropical medicine**, v. 10, n. 7, p. 621-630, 2017.
- BRITO, R. F. *et al.* Use of wastewater in the production of *aroeira seedlings*. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 687-694, 2018.

CALDAS, A. L. D. *et al.* Produtividade e qualidade de café cv travessia em resposta à irrigação e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 1, p. 2357, 2018.

CAOVILLA, F. A. *et al.* Lixiviação de nutrientes provenientes de águas residuárias em colunas de solo cultivado com soja. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9 (suplemento), p.283-287, 2005.

CARDOSO, A. A. S. *et al.* Influência da acidez e do teor de fósforo do solo no crescimento inicial do mogno. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 81, p. 1-10, 2015.

CARNEIRO, J. S. S. *et al.* Resposta do capim Mombaça sob efeito de fontes e doses de fósforo na adubação de formação. **Journal Of Bioenergy and Food Science**, v. 4, n. 1, p. 12-25, 2017.

CARVALHO, A. A. *et al.* Zoneamento agrometeorológico da moringa para o Estado de Pernambuco em condições atuais e projeções futuras. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 3, p. 194-202, 2017.

CASTILLO, L. R. I. *et al.* Inclusion of Moringa Leaf Powder (*Moringa oleifera*) in Fodder for Feeding Japanese Quail (*Coturnix coturnix japonica*). **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 20, n. 1, p. 15-26, 2018.

CHATURVEDI, V. *et al.* Climate mitigation policy implications for global irrigation water demand. **Mitigation and adaptation strategies for global change**, v. 20, n. 3, p. 389-407, 2015.

CIMÓ, L. *et al.* Doses de fósforo na fertirrigação de mudas em substrato a base de fibra de coco e influência na produção do repolho. **Irriga**, v. 22, n. 1, p. 34, 2018.

CORREIA, C.M. *et al.* Ultraviolet-B radiation and nitrogen affect the photosynthesis of maize: a Mediterranean field study. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v.22, n.3, p.337-347, 2005.

COSTA, M. T. M. *et al.* Alterações químicas e físico-químicas do solo com aplicações sucessivas de esgoto doméstico bruto como alternativa de disposição final do cultivo de forrageira. **PERIÓDICO TCHÊ QUÍMICA**. Vol. 15 N. 29, 2017.

CRUZ, J. L. *et al.* Influência da salinidade sobre o crescimento, absorção e distribuição de sódio, cloro e macronutrientes em plântulas de maracujazeiro-amarelo. **Bragantia**, v. 65, n. 2, p. 275-284, 2006.

CRUZ, J. L. *et al.* Influência da adubação fosfatada sobre o crescimento do camapu (*Physalis angulata* L.). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 3, p. 360-366, 2015.

DANTAS, D. C. *et al.* Production components of sunflower plants irrigated with treated domestic wastewater and drinking water in semiarid region. **Revista Ceres**, v. 66, n. 1, p. 34-40, 2019.

- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R. Elementos requeridos a nutrição de plantas. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- DIAS, N. S.; BLANCO, F. F. Manejo da salinidade na agricultura: Estudos básicos e aplicados. Fortaleza: **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em salinidade**. p.132-144. 2010.
- DIAS, N. S. *et al.* Atributos químicos de solo fertirrigado com água residuária no semiárido brasileiro. **Irriga**, v. 18, n. 4, p. 661-674, 2013.
- DUARTE, A. S. *et al.* Efeitos da aplicação de efluente tratado no solo: pH, matéria orgânica, fósforo e potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 302-310, 2008.
- ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, v. 31, n. 3, p. 531-541, 2001.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5 ed. Brasília: EMBRAPA Solos, 2018.
- EVANGELISTA, G. F.; SOARES, I. M. S.; REIS, L. H. Q. *Moringa oleifera* LAM: um adsorvente natural utilizado na remoção de contaminantes em efluentes líquidos. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 3, p. 308-313, 2015.
- FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The future of food and agriculture – Trends and challenges. Annual Report, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2019.
- FERNÁNDEZ, M. C. *et al.* Análisis farmacognóstico preliminar de las semillas de *Moringa oleifera* Lam cosechadas en Cuba. **Revista Cubana de Farmacia**, v. 49, n. 2, p. 360-373, 2015.
- FERREIRA, D. F. **Sisvar**: Sistema de análise de variância versão 4.6. UFLA/DEX, Lavras, Brasil. 2014.
- FERREIRA, G. B. *et al.* A Deficiência de fósforo e potássio na mamona (*Ricinus communis* L.): descrição e efeito sobre o crescimento e a produção da cultura. In: **Congresso Brasileiro de Mamona**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004.
- FERREIRA, K. S. *et al.* Crescimento e acúmulo de nutrientes em mudas de aceroleiras em função da aplicação de diferentes doses de nitrogênio e potássio. **Colloquium Agrariae**, v. 15, n.2, Mar-Abr, p. 37-50, 2019.
- FIGUEIREDO, M. A. *et al.* Fontes de potássio no crescimento in vitro de plantas de orquídea *Cattleya loddigesii*. **Ciência Rural**, v.38, n.1, p.255-257, 2008.
- FIRMINO, M. C. *et al.* Altura e diâmetro do pinhão manso sob adubação fosfatada e uso de água residuária. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 11, n. 2, p. 22-31, 2015.

FONSECA, A. F. *et al.* Maize growth and changes in soil fertility after irrigation with treated sewage effluent. II. Soil acidity, exchangeable cations, and sulfur, boron and heavy metals availability. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, p.1983-2003, 2005.

FONTELES, J. J. V. *et al.* Crescimento e produção de duas cultivares de alface utilizando água de esgoto tratado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 9, n. 5, p. 320-325, 2015.

FORTES NETO, P. *et al.* Alterações químicas do solo e produção de aveia fertilizada com água residuária do tratamento de esgoto sanitário. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, p. 71-83, 2013.

FONTES, P. C. R. *et al.* Dinâmica do crescimento, distribuição de matéria seca na planta e produção de pimentão em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.23, p.94-99, 2005.

FRANCISCO, J. P. *et al.* Desempenho de filtros orgânicos com o uso de extrato de sementes de *Moringa oleifera* LAM. **Irriga**, v. 19, n. 4, p. 705-713, 2014.

FREIBERGER, M. B. *et al.* Nutrição e adubação NPK para a cultura do pinhão manso no Brasil. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 157-166, 2013.

FREITAS, C. A. S. *et al.* Crescimento da cultura do girassol irrigado com diferentes tipos de água e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, p. 1031-1039, 2012.

FREITAS, E. C. S. *et al.* Crescimento e qualidade de mudas de *Cassia Grandis* linnaeus f. em resposta à adubação fosfatada e calagem. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 2, p. 509-519, 2017.

GALINDO, F. S. *et al.* Acúmulo de matéria seca e nutrientes no capim-mombaça em função do manejo da adubação nitrogenada. **Journal of Neotropical Agriculture**, v. 5, n. 3, p. 1-9, 2018.

GARCIA, G. O. *et al.* Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. **Idesia (Arica)**, v. 25, n. 3, p. 93-106, 2007.

GAVA, G. J. C. *et al.* Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, n.11, p.1347-1354, 2001.

GOMES, J. M. *et al.* Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GLOVER, *et al.*, Micronutrient composition and acceptability of *Moringa oleifera* leaf-fortified dishes by children in Ada-East district, Ghana. **Food science & nutrition**, v. 5, n. 2, p. 317-323, 2016.

GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, C. E.; CRESPO-LÓPEZ, G. J. Respuesta de *Moringa oleifera* Lam a estrategias de fertilización en suelo Ferráltico rojo lixiviado. **Pastos y Forrajes**, v. 39, n. 3, p. 106-110, 2016.

GONÇALO FILHO, F. *et al.* Cultivo de algodoeiro irrigado com efluente doméstico e adubação fosfatada. **Tese de Doutorado**, 2019.

GRANT, C. A. *et al.* A Importância do fósforo no desenvolvimento inicial da planta. *Informações agrônômicas*, Piracicaba, SP. Ed 95: 1-5, 2001.

GUALBERTO, A. F. *et al.* Características, propriedades e potencialidades da moringa (*Moringa oleífera* Lam.): Aspectos agroecológicos. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 19-25, 2015.

GUILHERME, L. R. G. *et al.* Adsorção de fósforo em solos de várzea do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 1, p. 27-34, 2000.

GUIMARÃES, C. M. *et al.* Sistema radicular do arroz de terras altas sob deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, p.126-134, 2011.

HESPANHOL, I. *et al.* Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75-95, 2002.

KALEO, I. V. *et al.*, Effects of *Moringa oleifera* leaf extract on growth performance, physiological and immune response, and related immune gene expression of *Macrobrachium rosenbergii* with *Vibrio anguillarum* and ammonia stress. **Fish & shellfish immunology**, v. 89, p. 603-613, 2019.

KHAN, I. *et al.* Effect of *Moringa oleifera* leaf powder supplementation on growth performance and intestinal morphology in broiler chickens. **Journal of animal physiology and animal nutrition**, v. 101, p. 114-121, 2017.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. Crescimento de mudas de *Prunus sellowii* Koehne em resposta a adubações com NPK e pó de basalto. **Floresta**, v. 37, n. 2, 2007.

LACERDA, P. M.; MALAFAIA, G.; RODRIGUES, A. S. L. Influência da irrigação com águas residuárias no desenvolvimento de *Leucaena leucocephala* (Leucena). **SaBios-Revista de Saúde e Biologia**, v. 8, n. 2, 2013.

LACERDA, K. A. P. *et al.* Fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada no crescimento inicial de seis espécies arbóreas do cerrado. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 377-386, 2011.

LATIF, H. H.; MOHAMED, H. I. Exogenous applications of moringa leaf extract effect on retrotransposon, ultrastructural and biochemical contents of common bean plants under environmental stresses. **South African journal of botany**, v. 106, p. 221-231, 2016.

LEONARDO, M. *et al.* Estado nutricional e componentes da produção de plantas de pimentão conduzidas em sistema de fertirrigação durante indução de estresse salino em cultivo protegido. **Bragantia**, v. 67, n. 4, p. 883-889, 2008.

LEONE, A. *et al.* Cultivation, genetic, ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacology of *Moringa oleifera* leaves: an overview. **International journal of molecular sciences**, v. 16, n. 6, p. 12791-12835, 2015.

LIMA, B. L. C. *et al.* Agronomic performance of colored cotton influenced by irrigation with treated domestic sewage and potassium fertilization in semi-arid region of Brazil. **Dyna**, v. 86, n. 210, p. 74-80, 2019.

LIMA, R. L. S. *et al.* Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 11, n. 1, 2007.

LIMA, R. L. S. *et al.* Efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e teor de macronutrientes de mudas de pinhão manso. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 4, p. 950-956, 2011.

LINS, F. J. A. *et al.* Crescimento de genótipos experimentais de milho em função de doses crescentes de nitrogênio. **Ciência Agrícola**, v. 15, n. 2, p. 19-27, 2017.

LIRA, R. M. *et al.* A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada. **Revista Geama**, v. 1, n. 3, p. 341-362, 2016.

LITRE, G. *et al.* O desafio da comunicação da pesquisa sobre riscos climáticos na agricultura familiar: a experiência de uso de cartilha educativa no Semiárido nordestino. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 40, p.207-228, 2017.

MAGALHÃES, A. G.; MARTINS, E. L.; MEDEIROS, S. S. Análise do crescimento de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. irrigada com água residuária em região semiárida. **Brazilian Journal of Development**, v. 5, n. 12, p. 28334-28342, 2019.

MAIMONE, J. C. C; HARDER, M. N. C. Uso e conservação da água na produção de alimentos e energia. **Bioenergia em Revista: Diálogos** v. 4, n. 2, p.1-26, 2014.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Piracicaba: Ceres, p. 638. 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, A. S. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2 ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

MARQUES, M. V. A. *et al.* Potencial, economia de água e adubação com a aplicação de efluente do tratamento preliminar de esgoto doméstico na fertirrigação de capim-efefante. **HOLOS**, v. 2, p. 52-64, 2017.

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

MEDEIROS, A. S. *et al.* Crescimento inicial da berinjaleira sob adubação nitrogenada e fosfatada e irrigada com água de reuso. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 2015.

MEDEIROS, R. L. S. *et al.* Crescimento e qualidade de mudas de moringa oleífera lam em diferentes proporções de composto orgânico. **Revista Ifes Ciência**, v. 3, n. 1, p. 204-215, 2017.

- MEDEIROS, S. S. *et al.* Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: Estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 603-612, 2005.
- MELO, N. C. *et al.* Cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) hidropônico sob diferentes níveis de fósforo e potássio em solução nutritiva. **Agroecossistemas**, v. 6, n. 1, p. 10-16, 2014
- MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre: **Genesis**, v. 1, p. 1-8, 1999.
- MIRANDA, J. R. P. *et al.* Produção de massa seca e acúmulo de nutrientes e Na por plantas de Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) cultivadas em solução nutritiva com diferentes níveis de NaCl. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 47, n. 1, p. 187-198, 2007.
- MIYAZAWA, A. *et al.*, Nicotinic acetylcholine receptor at 4.6 Å resolution: transverse tunnels in the channel. **Journal of molecular biology**, v. 88 n.4, p.765- 786, 1999.
- MOYO, B.; MASIKA, P. J.; HUGO, A.; MUCHENJE, V. Nutritional characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. **African Journal Biotechn.**, v.10, n.60, p.12925-12933, 2011.
- MUFFAREG, M. R. Análise e discussão dos conceitos e legislação sobre reuso de águas residuárias. Dissertação de Mestrado. 2003.
- MUNIZ, G. L.; DUARTE, F. V.; OLIVEIRA, S. B. Uso de sementes de Moringa oleífera na remoção da turbidez de água para abastecimento. **Revista Ambiente & Água**, v. 10, n. 2, p. 454-463, 2015.
- NACHTIGALL, G.R.; RAIJ, B.V. **Análise e interpretação do potássio no solo**. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Associação Brasileira Para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005.
- NASCIMENTO, J. S.; FIDELES FILHO, J. Crescimento, produção e alterações químicas do solo em algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 2, p. 36-45, 2015.
- NASCIMENTO, T. S. *et al.* Produção de mudas de pimentão irrigadas com efluentes de piscicultura. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 10, n. 1, p. 449-459, 2016.
- NEGÓBRA, J. S. *et al.* Produção de mudas de moringa (moringa oleífera) sob irrigação com água salina e substratos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 6, p. 3012-3020, 2018.
- NOBRE, R. G. *et al.* Crescimento do girassol irrigado com água residuária e adubação orgânica. **Revista DAE**, v. 3, n. 4, p. 50-60, 2009.

- NÓBREGA, J. S. *et al.* Produção de mudas de moringa (*Moringa oleífera*) sob irrigação com água salina e substratos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 6, p. 3012-3020, 2018.
- NOGUEIRA, E. M. S. *et al.* **Conservação dos recursos naturais** - Paulo Afonso: SABEH, 2016.
- NOVAIS, R.F. *et al.* **Fertilidade do Solo**. 1. ed. Viçosa, MG; Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 207, 2007.
- OLSON, M. E. *et al.* Leaf protein and mineral concentrations across the “Miracle Tree” genus *Moringa*. **PloS one**, v. 11, n. 7, p. 1-17, 2016.
- OLIVEIRA, A. F. M. *et al.* Teores de metais pesados em cambissolo irrigado com água residuária doméstica e água de poço/Heavy metal contents in irrigated cambisoil with domestic wastewater and well water. **Revista Ambiente & Água**, v. 9, n. 2, p. 302-312, 2014.
- OLIVEIRA, N. T. *et al.* Tratamento de água com moringa oleífera como coagulante/floculante natural. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 373-382, 2018.
- OLIVEIRA, P. C. P. *et al.* Produção de moranga irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental - Agriambi**, v. 17, n. 8, 2013.
- PAKADE, V. *et al.*, Comparison of antioxidant activity of *Moringa oleifera* and selected vegetables in South Africa. **South African journal of science**, v. 109, n. 3-4, p. 01-05, 2012.
- PÉREZ, A. *et al.* Características y potencialidades de *Moringa oleifera*, Lamark. Una alternativa para la alimentación animal. **Pastos y Forrajes**, v. 33, n. 4, 2010.
- PEREIRA, D. F. *et al.* Aproveitamento da torta da *Moringa oleifera* Lam para tratamento de água produzida. **Exacta**, v. 9, n. 3, p. 323-331, 2011.
- PEREIRA, K. T. O. *et al.* Efeito de níveis de fertilizantes na produção de mudas de moringa. In: Inovagri International Meeting, 2., 2014, Fortaleza-Ceara. Anais... Fortaleza: **INOVAGRI**, 2014.
- PEREIRA, K. T. O. *et al.* Qualidade de mudas de moringa sob diferentes níveis de nutrientes aplicados via fertirrigação. **Brazilian Journal of Forest Research/Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 497-504, 2016.
- PINA, J. C. Crescimento de *Moringa oleifera* Lam (Moringaceae), uma espécie de interesse econômico, em diferentes substratos e luminosidades. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional da Universidade. Anhanguera-Uniderp, Campo Grande, 2015.
- PRIMAVESI, A. Agricultura em regiões tropicais. Manejo ecológico do solo. São Paulo: Nobel. 2002. 549p.

PRIMIERY, S. *et al.* Dinâmica do carbono no solo em ecossistemas nativos e plantações florestais em Santa Catarina. **Floresta e Ambiente**, v. 24, 2017.

QUEIROZ, F. M. *et al.* Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v. 34, n. 5, p. 1487-1492, 2004.

RAIJ, B. V. *et al.* **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. 4. ed. Campinas: Fundação Cargill, p. 343, 2001.

REBOUÇAS, J. R. L. *et al.* Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 97-102, 2010.

REBOUÇAS, J. R. L. *et al.* Qualidade de mudas de sabiá irrigadas com efluente doméstico. **Floresta**, v. 48, n. 2, p. 173-182, 2018.

RESENDE, A.V. *et al.* Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. **Informações Agrônômicas**, v.156, p.1-17, 2016.

RESENDE, A. V. *et al.* Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. **Revista Espaço e Geografia**, v. 9, n. 1, 2006.

RHOADES, J. Drainage for salinity control. In: Shilfgaarde, J. Van (Ed.). Drainage for Agriculture. **American Society of Agronomy**, Madison, EUA. p. 433-462. 1974.

RIBEIRO, D. P. Alterações químicas em solo cultivado com milho, algodoeiro e feijoeiro em sucessão e fertirrigado com esgoto sanitário tratado. **Tese de Doutorado**, Departamento de Engenharia Agrícola/Universidade Federal de Viçosa, Viçosa: UFV, 2014.

Disponível em:

<https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/7348/texto%20completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 fev. 2020.

RIBEIRO, G. M. *et al.* Uso da Regressão linear para estimativa da relação entre a condutividade elétrica e a composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Vol. 9. Nº1. p.15-22, 2004.

ROCHA, S. A. *et al.* Crescimento e nutrição foliar de mudas de Eucalyptus sp. irrigadas com diferentes qualidades de água. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 37, n. 2, p. 141-151, 2014.

ROLIM, H. O. *et al.* Qualidade dos efluentes de sistemas de tratamento biológico UASB e UCT para reúso agrícola. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 9, n. 2, p. 393-414, 2016.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/882598>. Acesso em: 15 jan.2020.

ROS, C. O. *et al.* Efeito da calagem e da adubação fosfatada no crescimento inicial e na nutrição das plantas de *Khaya ivorensis*. **Scientia Forestalis**, n. 123, p. 430-439, 2019.

RUFAl, S. *et al.*, Growth and development of moringa (*Moringa oleifera* L.) stem cuttings as affected by diameter magnitude, growth media, and indole-3-butyric acid. **Annals of Forest Research**, v. 59, n. 2, p. 209-218, 2016.

SANDRI, D. *et al.* Alteração química do solo irrigado por aspersão e gotejamento subterrâneo e superficial com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 6, p. 755-764, 2009.

SANTANA, R. N. *et al.* Análise da variabilidade espacial dos atributos químicos do solo na remoção de nutriente e da produtividade da brachiaria humicula utilizada em rampas de escoamento superficial no tratamento de esgoto sanitário operando em condições reais. **REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA-REVENG**, v. 25, n. 1, p. 12-26, 2017.

SANTOS, C. K. *et al.* Impacto do uso de efluentes nas características do solo cultivado com quiabo (*Abelmoschus esculentus* L). **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 4, p. 2776, 2018.

SANTOS, C. S. *et al.* Evapotranspiração e coeficientes de cultivo da *Moringa oleifera* no semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 12, p. 840-845, 2017.

SANTOS, J. B. *et al.* Morfofisiologia e produção do algodoeiro herbáceo irrigado com águas salinas e adubado com nitrogênio. **Comunicata Scientiae**. v.7 n. 1, p. 86-96, 2016.

SANTOS, J. Z. L. *et al.* Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, v. 32, n. 5, p. 799-807, 2008.

SANTOS, N. J. *et al.* Avaliação do crescimento, desenvolvimento e produção do algodão irrigado com água de esgotos sanitários tratados. **Agropecuária científica no semiárido**, v. 14, n. 4, p. 331-338, 2019.

SANTOS, S. R. *et al.* Crescimento e produção do algodoeiro fertirrigado com água residuária sanitária no semiárido de minas gerais. **Irriga**, v. 21, p. 40-57, 2016.

SANTOS, S. S. *et al.* Efeitos da aplicação localizada de esgoto sanitário tratado nas características químicas do solo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.14 n.1, 32-38, Jan/Mar, 2006.

SARWAR, M. *et al.* Compost and Synthetic Fertilizer Affect Vegetative Growth and Antioxidants Activities of *Moringa oleifera*. **Int. J. Agric. Biol.**, v. 19, n. 5, p. 1293-1300, 2017.

SERAFIM, M. E. *et al.* Umidade do solo e doses de potássio na cultura da soja. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza - CE, v. 43, n. 2, p. 222-227, 2012.

SCHNEIDER, F. L. **Fontes de carbono orgânico sobre o desempenho agrônômico da cultura da soja e teores de fósforo e potássio no solo**. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SILVA, E. K. P. *et al.* Insegurança alimentar em comunidades rurais no Nordeste brasileiro: faz diferença ser quilombola? **Cadernos de saúde pública**, v. 33, p. 1-14, 2017.

SILVA, M. R.; IGNACIO, L. A.; SILVA, G. A. Desenvolvimento de mudas de maracujá amarelo em função de diferentes doses fósforo reativo. – **Reagro**, Jales, v.6, n.1, p.41-50, jan./jun. 2017.

SILVA, S. S. *et al.* Superfície de resposta e adubação orgânica e fosfatada para a cultura do pinhão-manso. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 3, p. 289-301, 2018.

SILVA, T. T. S. *et al.* Efeito residual nas características do solo irrigado com água residuária doméstica tratada e adubação orgânica. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 1, p. 45, 2014.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N. Produção de mudas de *Eucalyptus* spp. na Lwarcel. **Piracicaba: IPEF**, 1998.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado. **Peachtree Corners**, 2003.

SOUSA NETO, O. N. *et al.* Fertirrigação do algodoeiro utilizando efluente doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 200-208, 2012.

SOUZA, F. G.; CHAVES, L. H. G.; ALVES, A. N. Diagnóstico por subtração para deficiências de nitrogênio e potássio em gergelim cultivado com solução nutritiva. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 3, p. 171-176, 2016.

SOUZA, F. M. de *et al.* Initial growth of *Moringa oleifera* Lam. a function of poultry litter doses and granulometry. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 48, n. 4, p. 399-406, 2018.

SOUZA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A.; BATISTA, L. A. R. Avaliação e aplicação de métodos de análise para o fracionamento do nitrogênio em amostras de alimentos para animais. **Embrapa Pecuária Sudeste-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2006.

SOUZA, M. A. *et al.* Características biométricas e acúmulo de fitomassa da berinjela sob irrigação com água residuária e doses de nitrogênio e fósforo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 11, n. 7, p. 1975-1985, 2017.

SOUZA, R. M. *et al.* Utilização de água residuária e de adubação orgânica no cultivo do girassol. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 2, p. 125-133, 2010.

SUASSUNA, J. F. *et al.* Produção de fitomassa em genótipos de citros submetidos a estresse hídrico na formação do porta-enxerto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n.12, p. 1305-1313, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**, 2013. Porto Alegre: Artmed, 361p.

TEDESCO, M. J. *et al.*, Análise de solo, plantas e outros materiais. Boletim técnico, 5. 174p. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.

TEIXEIRA, E.M. B. **Caracterização química e nutricional da folha de moringa** (*Moringa oleifera* Lam.). 2012. 94 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, 2012. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/100064>. Acesso em: 10 fev.2020.

TEIXEIRA, S. O. *et al.* Doses of phosphorus and nitrogen in the production of *Brachiaria híbrida* cv. Mulato II. **Revista Ceres**, v. 65, n. 1, p. 28-34, 2018.

TISDALE, S.L. *et al.* **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. New York: MacMilan Publ., 754 p. 1985.

TORQUATO, J. P. *et al.* Teores de Ca, K, Mg e P na cultura do feijão caupi sob diferentes doses de fósforo. **Agropecuária Técnica, Areia**, v. 32, n. 1, p. 79-87, 2011.

United Nations. United Nations World Water Assessment Programme. The United Nations World Water Development Report 2015. **Water for a sustainable world**. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2018.

VALERIANO, T. T. B. *et al.* Reposições de água no solo e incidência de doenças foliares em cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) **Irriga**, v. 23, n. 4, p. 697-712, 2018.

VANCE, C.P. *et al.* Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, v.157, n.3, p.423-477, 2003.

VIEIRA, H; CHAVES, L. H. G; VIÉGAS, R. A. Crescimento inicial de moringa (*Moringa oleifera* Lam) sob omissão de nutrientes. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 4, 2008.

WITHAM, F. H.; BLAYDES, D. F.; DEVLIN, R. M. **Experiments in plant physiology**. New York, Van Nostrand Reinhold, p 254. 1971.

WWAP (United Nations World Water Assessment Programme)/UN-Water. **The United Nations World WaterDevelopmentReport 2018: Nature-Based Solutions for Water**. Paris, UNESCO, 2018.

WWAP (UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME) / UN-WATER. **The United Nations world water development report 2018: Nature-based solutions for water**. 2018.

ZHANG, T. *et al.* Effect of including different levels of moringa (*Moringa oleifera*) leaf meal in the diet of finishing pigs: Performance, pork quality, fatty acid composition, and amino acid profile. **Czech Journal of Animal Science**, v. 64, n. 3, p. 141-149, 2019.