

JOSÉ RALIUSON INÁCIO SILVA

RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS E RENDIMENTO DO MILHETO SOB ADUBAÇÃO
ORGÂNICA E IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA

Serra Talhada-PE

2019

**S
I
L
V
A**

**J
R
I**

**R
E
S
P
O
S
T
A
S**

**·
·
·**

**2
0
1
9**

JOSÉ RALIUSON INÁCIO SILVA

RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS E RENDIMENTO DO MILHETO SOB ADUBAÇÃO
ORGÂNICA E IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza

Coorientador: Prof. Dr. Genival Barros Júnior

Prof. Dr. Maurício Luiz de
Mello Vieira Leite

Serra Talhada-PE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca da UAST, Serra Talhada-PE, Brasil

S586r Silva, José Raliuson Inácio
Respostas fotossintéticas e rendimento do milho sob adubação orgânica e irrigação com água residuária / José Raliuson Inácio Silva. - Serra Talhada, 2019.
81 f. : il.

Orientador: Eduardo Soares de Souza

Coorientadores: Genival Barros Júnior; Maurício Luiz de Mello Vieira Leite

Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada, PE, 2019.

Inclui referências.

1. Salinidade. 2. Águas residuais. 3. Irrigação. I. Souza, Eduardo Soares de, orient. II. Barros Júnior, Genival, coorient. III. Leite, Maurício Luiz de Mello Vieira, coorient. IV. Título.

CDD 631

JOSÉ RALIUSON INÁCIO SILVA

RESPOSTAS FOTOSSINTÉTICAS E RENDIMENTO DO MILHETO SOB ADUBAÇÃO
ORGÂNICA E IRRIGAÇÃO COM ÁGUA RESIDUÁRIA

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal.

APROVADO em ____/____/____.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eduardo Soares de Souza – UAST/UFRPE
Orientador

Prof. Dr. Ênio Farias de França e Silva – DEA/UFRPE
Examinador Externo

Dr. Aldo Torres Sales – ONDACBC/UFPE
Examinador Externo

Dedico este momento especial da minha vida a meus pais (Marinalva Maria Inácio da Silva e José Alderi Sargitario da Silva), a minha esposa Edinete Souza e a minha madrinha/tia Raimunda Queiroz (muito importante na minha educação, e que infelizmente não pode comemorar essa conquista comigo) que sempre me ajudaram, incentivaram e me compreenderam em todos os momentos da minha vida. Devo principalmente esta vitória alcançada a vocês, os grandes amores da minha vida.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me proporcionar saúde, paz, bons amigos e uma família maravilhosa e ainda me dar forças nos momentos de dificuldade.

Aos meus Pais José Alderi Sargitario da Silva e a Marinalva Maria Inácio da Silva, por nunca deixarem faltar amor, carinho e apoio em todas as minhas decisões. O homem que sou hoje devo aos exemplos em casa tive em casa.

A minha esposa Edinete, por sempre está sempre ao meu lado, me apoiando nos momentos de dificuldade, sem seu amor teria sido mais difícil enfrentar essa jornada e o sabor da vitória não seria o mesmo sem você ao meu lado.

Aos meus irmãos Kleyton, Ralyane e Nicolas, por sempre torcerem para que eu consiga atingir meus objetivos.

A minha avó materna Antônia (Toinha), pelo seu amor, ajuda e motivação para enfrentar essa caminhada.

Aos meus avós paternos (Valdeci e Alvelina) e dêrnias familiares, pelo apoio e carinho durante esses anos.

Ao meu orientador Prof. Eduardo, pela paciência e ensinamentos transmitidos ao longo desses seis anos (PIBIC e mestrado) e por sua amizade. Sua disponibilidade e dedicação a pesquisa são exemplos que guardo comigo.

Aos demais membros do comitê de orientação Prof. Maurício Leite e Prof. Genival, por todo conhecimento transmitido e amizade ao longo desses anos. Vocês são exemplo de profissionais.

A meu amigo Dr. Rodolfo Souza, pelos ensinamentos, conselhos e sobre tudo sua amizade ao longo desses anos. Mesmo não sendo fazendo parte oficialmente da minha orientação, contribuiu bastante para realização desse trabalho e na minha vida acadêmica/profissional.

Aos membros da banca examinadora Prof. Ênio França e Dr. Aldo Torres, por se deslocarem de longe e retirar um pouco dos seus tempos para contribuir com este trabalho.

Aos membros do Grupo de Ecohidrologia no Semiárido (Wagner Martins, Willyan César, Leandro Mira, Aline Sheyla, Vitor Henrique e Fernando Isaías), por contribuírem na condução do experimento e pelos momentos de descontração nas atividades de campo.

Aos meus amigos Alexandre Maniçoba e Neto Barroso, que mesmo tendo suas ocupações sempre me ajudaram na condução do experimento.

Aos meus amigos de turma do mestrado (Alexandre, Neto Barroso, Renilson, George, Cidinha, Elisângela, Andreia e Naiara) às pérolas do PGPV (MORAIS, 2017), por todo o

apoio, momentos de descontração e amizade ao longo desses dois anos. Ao longo desse tempo formamos uma verdadeira família que levarei para sempre em meu coração.

Aos demais amigos que fiz durante o mestrado (Laamon, Lypson, Denizard, Arnaldo, Dr. Kelem, Cinara, Mirna, Cléia, Marcela, Aline, Marcondes, Marlos e Iago), por toda a motivação e amizade. Levarei vocês para sempre em meu coração, pois conviver com vocês foi uma das melhores experiências da minha vida.

Aos meus amigos que fiz durante o curso de agronomia (Alexandre, Thiago, Suely, Marcelo, Abda, Julierme, Anderson, Laamon, George, Danielli, Sara, Marcondes, Renata, Bruno tempero, Rosana, Robson, Daliclecia e Rafaela) pela amizade, momentos de descontração e motivação para que eu ingressar na pós-graduação.

A organização não governamental Diaconia unidade de Afogados da Ingazeira-PE (Fagner, Jucier, Afonso e Adilson), por me apresentarem o sistema de biofiltro de águas cinzas (durante estágio) e fornecerem apoio durante o experimento para capitação da água cinza.

A família de Seu Luiz e Dona Joselita, por colaborar com essa pesquisa disponibilizando a água cinza do seu sistema de biofiltro, e por nos receber sempre com muita atenção.

A Universidade Federal Rural de Pernambuco Unidade Acadêmica de Serra Talhada, por disponibilizar sua estrutura física e funcionários para auxiliar na pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV/UFRPE), por disponibilizar toda sua estrutura física para auxiliar na condução do experimento.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PGPV/UFRPE), pelos conhecimentos transmitidos durante as disciplinas e por sempre estarem disponíveis para solucionar eventuais dúvidas.

Aos Professores do curso de Agronomia, por todo o conhecimento transmitido durante o curso, sendo esse conhecimento bastante útil na Pós-graduação.

A Dona Luci e Marquinhos da manutenção em nome de todos os funcionários terceirizados, por sempre estarem disponíveis para auxiliar na pesquisa.

A Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao Observatório Nacional da Dinâmica de Água e Carbono no Bioma Caatinga (ONDACBC), pelo financiamento da pesquisa.

A todos que acreditam em mim um muito OBRIGADO!

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.”

(Arthur Schopenhauer)

RESUMO GERAL

A agricultura está enfrentando um grande problema em todo o mundo, devido a escassez de recursos hídricos. Visando aumentar a disponibilidade hídrica, estudos com água residuária na agricultura têm sido incentivados. Dentre os tipos de água residuária, pode-se citar às águas cinzas como uma alternativa mais viável e segura, pois possuem uma menor carga microbiana. Além disso, para uma maior eficiência dos recursos hídricos a utilização da água residuária na agricultura deve ser empregada com outras práticas agrícolas como a redução das lâminas de irrigação, uso de espécies vegetais tolerantes ao déficit hídrico e um manejo nutricional equilibrado. Diante do contexto, objetivou-se estudar os efeitos de diferentes regimes hídricos de água residuária (água cinza), sobre plantas de milho (trocas gasosas, dinâmica de crescimento e o acúmulo de fitomassa) com e sem adubação orgânica, além do aporte de sais ao solo promovido por essa água residuária. A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido no período de setembro a novembro de 2017, em delineamento de blocos casualizados, com esquema fatorial ($4 \times 2 + 1$) com três repetições, tendo como primeiro fator as lâminas de irrigação com água cinza (25, 50, 75 e 100% da água disponível do solo) e o segundo constituído por doses de esterco bovino (0 e 34 Mg ha⁻¹), acrescentando-se ainda um tratamento controle (irrigação com água do abastecimento urbano e sem adubação). Ao longo do ciclo da cultura foram realizadas oito avaliações biométricas (análise de crescimento), quatro de trocas gasosas e após 60 dias de aplicação dos tratamentos determinou-se a massa seca das plantas e o aporte de sais no solo. Constatou-se que a irrigação com a água cinza não promove impactos negativos sob as plantas de milho, contudo, o milho necessita da adubação para que um maior rendimento seja alcançado. A massa de perfilhos basais foi o componente da planta mais favorecido pela adição de esterco ao solo, além disso, esta adubação aumentou a eficiência no uso da água em 120%. O estresse hídrico só começa a afetar as trocas gasosas do milho a partir dos 45 dias de irrigação deficitária. Apesar de obterem a maior produção de fitomassa, os tratamentos que foram adubados tiveram o maior aporte de sais ao solo, pois foram os que demandaram (evapotranspiração) maior volume de água residuária. A dinâmica do crescimento do milho, para a maioria das suas características estruturais, é explicada por equação sigmoide, com exceção do número de folhas vivas que se ajustou a regressão quadrática.

Palavras-chave: águas cinzas, estresse hídrico, aporte de sais ao solo, dinâmica do crescimento das plantas, eficiência no uso da água.

GENERAL ABSTRACT

Agriculture is facing a problem around the world due to scarce water resources. With the objective of increasing water availability, studies with wastewater in agriculture have been encouraged. Among the types of wastewater, greywater can be cited as a more viable and safe alternative, since they may have a lower microbial load. Also, for increased water efficiency the use of wastewater in agriculture should be employed with other agricultural practices such as reduction depth of irrigation, use of plant species tolerant to water deficit and balanced nutritional management. The evaluation was conducted in a protected environment in a randomized complete block design with a factorial scheme ($4 \times 2 + 1$) with three replications. The first factor was irrigation with gray water (25, 50, 75 e 100% of the available soil water) and the second consisting of doses of bovine manure (0 and 34 Mg ha⁻¹), adding to a controlled control with public well water and without fertilization. During the crop cycle, eight biometric evaluations (growth analysis), four gaseous exchanges and 60 days of application of the treatments were carried out to determine the dry mass of the plants and the contribution of salts in the soil. It was found that irrigation with gray water does not promote negative impacts under millet plants; however, millet needs fertilization to achieve a higher yield. The basal tiller mass was the most favored plant component by the addition of manure to the soil; also, this fertilization increased water use efficiency by 120%. The water stress only begins to affect the gas exchanges of the millet from the 45 days of deficit irrigation. Although they had a higher production of phytomass, the treatments that were fertilized had a higher amount of salts to the soil, since they were those that demanded a higher amount of wastewater (evapotranspiration). The dynamics of millet growth, for most of its structural characteristics, is explained by the sigmoid function, except for the number of live leaves that adjusted to the quadratic function.

Keywords: graywater, water stress, contribution of salts to the soil, plant growth dynamics, water use efficiency.

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 2

- Figura 1. Ilustração do sistema de filtragem de água residuária instalado pela Organização Não Governamental Diaconia em residências rurais no Semiárido pernambucano.....34
- Figura 2. Análise de regressão das trocas gasosas de milho irrigado com diferentes regimes hídricos de água residuária aos 45 e 60 dias após aplicação dos tratamentos. Os pontos indicam os valores médios medidos com o respectivo desvio padrão, as linhas indicam os valores estimados pela regressão e o CI é a concentração intercelular de CO₂.....39
- Figura 3. Análise de regressão da cadeia de transporte de elétrons (ETR), indicativo de desvios de elétrons (ETR/A) e eficiência de carboxilação (A/CI) de milho irrigado com diferentes níveis de água residuária.....40
- Figura 4. Dinâmica do crescimento do colmo sem adubação (A) e com adubação (B); e do número de folhas vivas sem adubação (C) e com adubação (D) de milho irrigado com diferentes regimes hídricos de água residuária e adubado com esterco. DAT – dias após aplicação dos tratamentos, T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.....43
- Figura 5. Partição da massa seca do milho em perfilho principal e perfilhos basais (A) e partição da planta em folhas vivas (FV), folhas mortas (FM), colmo e panícula das plantas de milho (B) irrigado com água residuária e adubado com 0 e 34 Mg ha⁻¹ esterco bovino. T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.....47
- Figura 6. Dinâmica da evapotranspiração acumulada (A) e de eficiência no uso da água (B) de milho irrigado com diferentes níveis de água residuária e adubado com 0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino. T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.....48
- Figura 7. Incremento na evapotranspiração e na matéria seca em relação a 25% da água disponível sem adubação (A) e com adubação (B).....50

LISTA DE FIGURAS CAPÍTULO 3

- Figura 1. Dinâmica temporal das características estruturais de milho sob diferentes níveis de água residuária com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino); DAT – dias após aplicação dos tratamentos; T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.....63
- Figura 2. Biplot dos componentes principais (PC1 e PC2) das características estruturais do milho irrigado com água residuária com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino). AD – água disponível do solo; T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.....67
- Figura 3. Produção de fitomassa seca em função da água disponível do solo em milho adubado com 34 Mg ha⁻¹ (A) e sem adubação (B).....69
- Figura 4. Massa seca de raízes de plantas de milho irrigadas com diferentes níveis de água residuária (água cinza), sem e com adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino). Letras maiúsculas iguais médias não diferem pelo teste de Tukey a 5%.....70
- Figura 5. Coeficientes de correlação simples (A) e de correlação parcial (B) das características estruturais com o rendimento de forragem do milho irrigado com água residuária (água cinza), sem e com adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino). MSP é a massa seca da parte aérea, MSR é a massa seca de raízes, CC é o comprimento do colmo, DC é o diâmetro do colmo, NP é o número de perfilhos, NFT é o número de folhas totais, NFV é o número de folhas vivas, NFM é o número de folhas mortas.....71
- Figura 6. Superfície de resposta da determinação da fitomassa em matéria seca (FMS) em função do comprimento do colmo (CC) e do número de folhas totais (NFT) do milho.....72
- Figura 7. Evapotranspiração durante as fases vegetativa e reprodutiva do milho, irrigado com diferentes regimes hídricos de água residuária com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino). T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.....73
- Figura 8. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, CEes (A), e sódio solúvel do solo, Na (B) em solo cultivado com milho e irrigado com diferentes regimes hídricos de água residuária. T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.....75
- Figura 9. Regressão entre evapotranspiração e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, CEes (A), e regressão entre evapotranspira e sódio dissolvido no extrato de saturação do solo, Na (B). T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.....76

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 2

Tabela 1. Análise química da água de abastecimento urbano (AA) e da água residuária (AR) utilizadas na irrigação do milho.....	33
Tabela 2. Trocas gasosas de milho aos 15, 30, 45 e 60 dias de irrigação com água residuária e adubação orgânica (0 e 34 Mg ha ⁻¹ de esterco bovino).....	37
Tabela 3. Coeficientes dos modelos sigmoidal e de segundo grau ajustados a partir dos dados medidos nas plantas de milho sob diferentes regimes hídricos de água residuária com e sem adubação.....	41
Tabela 4. Produção de fitomassa do milho irrigado com água residuária, sem e com adubação orgânica (0 e 34 Mg ha ⁻¹ de esterco bovino).....	45

LISTA DE TABELAS CAPÍTULO 3

Tabela 1. Análise química da água de abastecimento (AA) e da água residuária (AR) utilizadas na irrigação do milho.....	58
Tabela 2. Coeficientes dos modelos sigmoidal e regressão quadrática, ajustados a partir dos dados medidos nas plantas de milho sob diferentes lâminas de água residuária, com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha ⁻¹ de esterco bovino).....	61
Tabela 3. Coeficientes de carga variável (autovetores) e de correlação de Pearson para os componentes principais, extraídos usando os itens estruturais das plantas de milho irrigadas com diferentes níveis de água residuária com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha ⁻¹ de esterco bovino).....	66
Tabela 4. Teste de comparação de médias das variáveis latentes (VL) dos componentes principais 1 e 2 (PC1 e PC2).....	68

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA.....	17
1 Introdução.....	17
2 Escassez hídrica.....	18
3 Reuso de água na agricultura.....	19
4 Redução da lâmina de irrigação.....	21
5 Adubação orgânica como manejo para atenuar os efeitos do deficit hídrico.....	23
6 A cultura do milho.....	25
7 Referências.....	26
CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE PENNISETUM GLAUCUN SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA CINZA E ADUBAÇÃO ORGÂNICA.....	30
Resumo.....	30
Abstract.....	30
1 Introdução.....	31
2 Material e métodos.....	32
3 Resultados e discussão.....	36
3.1 Trocas gasosas do milho.....	36
3.2 Crescimento do milho.....	41
3.3 Produção de fitomassa do milho.....	44
3.4 Evapotranspiração e Eficiência no Uso da Água (EUA).....	47
4 Conclusões.....	50
5 Referências.....	50
CAPÍTULO 3 - DINÂMICA DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DO MILHETO E APORTE DE SAIS AO SOLO IRRIGADO COM DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA RESIDUÁRIA.....	54
Resumo.....	54
Abstract.....	55
1 Introdução.....	55
2 Material e métodos.....	57
3 Resultados e discussão.....	60
3.1 Dinâmica temporal das características estruturais do milho.....	60
3.2 Acúmulo de matéria seca na parte aérea e raízes.....	68
3.3 Relações entre as características estruturais e o acúmulo de fitomassa.....	70
3.4 Evapotranspiração do milho e aporte de sais ao solo.....	73
4 Conclusões.....	76
5 Referências.....	77
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	81

CAPÍTULO 1 - REVISÃO DE LITERATURA

1 Introdução

O constante aumento da população mundial, faz com que a demanda por alimentos cresça em ritmos acelerados. Essa alta demanda impulsiona os diversos setores agropecuários, com destaque para a pecuária. Uma proporção significativa dessa atividade é desenvolvida de forma extensiva, contudo, diante dos cenários de mudanças climáticas, aumento da demanda atmosférica e alterações no padrão espaço-temporal das chuvas (HARLEM et al., 2012), colocam em cheque essa atividade, por comprometer o desenvolvimento das plantas forrageiras. Acarretando em maior exploração de áreas nativas, que poderiam ser preservada (MEDICI et al., 2014).

Para minimizar esses impactos, a irrigação tem surgido como uma estratégia de manejo alternativo porém tona-se inviável em algumas regiões devido a escassez de recursos hídricos de boa qualidade. Estima-se que quase 80% da população mundial estará exposta a ameaça hídrica e que 65% da área do Planeta Terra possa vir a ter problemas com falta de água (VÖRÖSMARTY et al., 2010). Dessa forma, tona-se necessário a inclusão de novas alternativas que promovam um uso mais eficiente desse recurso cada vez mais escasso.

Dentre as alternativas, pode-se destacar o reúso de água de esgoto doméstico, pois diminui o volume de água de boa qualidade consumida pela atividade agrícola, além de representar uma fonte de nutrientes para as plantas, durante os períodos de estiagem (SCHAER-BARBOSA; SANTOS; MEDEIROS, 2014). Dentre os tipos de água residuária, destaca-se as águas cinzas, que possuem menos poluentes por não recebe a água da descarga das residências (LEONG et al., 2017), conseqüentemente torna seu tratamento mais barato, pois a água cinza passa apenas por um sistema de filtragem, para retirada de materiais em suspensão. Contudo, são necessários mais estudos para caracterização dessa água para irrigação.

Visando uma maior economia de água de boa qualidade, bem como, a redução na aplicação de águas de qualidade inferior, a redução nas lâminas de irrigação (com base na água disponível do solo) tem ganhado destaque. A agricultura de irrigação por deficit pode ser definida como, a aplicação de água abaixo dos requisitos para a máximo produção das culturas, aumentando a eficiência no uso da água, pois as reduções no rendimento das culturas, são inferiores a redução da lâmina de irrigação (MEDICI et al., 2014). No entanto, nem sempre o cultivo sobre deficit hídrico pode ser vantajoso, uma vez que, quando combinada

com outros fatores (clima e solo) geram incertezas sobre a produção (KÖGLER; SÖFFKER, 2017). Um dos efeitos imediatos sobre as plantas seria a redução da transpiração, por meio do fechamento estomático, para que as plantas possam manter o seu status hídrico. Contudo, isso acarreta em uma menor absorção de CO₂, contribuindo para menor crescimento da planta. Além do menor acúmulo de biomassa, a menor assimilação de CO₂, promove redução na velocidade do Ciclo de Calvin, acarretando em uma sobra de elétrons devidos da parte fotoquímica da fotossíntese, podendo resultar na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (SILVA et al., 2010).

Assim, torna-se necessário a escolha de espécies mais tolerantes ao estresse hídrico, quando se deseja cultivar sob condições de baixa disponibilidade hídrica. Dessa forma, o milheto (*Pennisetum glaucum* L.) surge com uma possível solução, pois apresenta uma elevada eficiência no uso da água e sistema radicular agressivo, mesmo quando submetida a condições de estresse hídrico (ROSTAMZA et al., 2011). No entanto, a tolerância a seca é um fator intrínseco de cada cultivar e das características edafoclimáticas de cada região. Além da escolha da cultivar, o manejo nutricional durante o desenvolvimento da planta sob condições de estresse é essencial. Trabalhos tem demonstrado que o milheto se torna mais tolerante a seca, quando cultivado sob o manejo nutricional equilibrado (UPPAL et al., 2015).

No entanto, os altos custos dos fertilizantes industrializados e seus impactos sobre o meio ambiente, tem levado pesquisadores a buscar novas alternativas, como a adubação orgânica. Que além da melhoria das características físicas e de fertilidade do solo, causa incrementos na atividade de microrganismos do solo (VIMAL et al., 2017).

2 Escassez hídrica

A maior parte do Planeta Terra é coberto por água, contudo, apenas 0,01% desse volume encontra-se disponível em rios, lagos, barragens e demais reservatórios (BRANDÃO; CARLOS; LIMA, 2014). No entanto, esse montante não é uniformemente distribuído pela superfície terrestre, havendo regiões com baixa população e alta disponibilidade hídrica e regiões com alta população e baixa disponibilidade hídrica. Outro fator a considerar é que aproximadamente 70% da água que é captada nos corpos hídricos é utilizada pela agricultura (CHRISTOFIDIS, 2006), sendo que apenas 15 a 20% da água destinada para irrigação é realmente aproveitada pelas plantas (SILVA et al., 2016).

Esse problema é agravado frente as mudanças climáticas, pois provavelmente ocorrerá uma maior demanda atmosférica, reduzindo a quantidade de água disponível para o

desenvolvimento das plantas (HARLEM et al., 2012). A sustentabilidade dos recursos hídricos depende das interações dinâmicas entre as características ambientais, tecnológicas e sociais do sistema de água e da população local, esse equilíbrio é cada vez mais difícil de sustentar à medida que a população aumenta e a precipitação diminui devido às mudanças climáticas (MASHHADI ALI; SHAFIEE; BERGLUND, 2017). Apesar da problemática envolvendo a escassez hídrica, a maior parte da população não se preocupa com essa temática, sendo que a preocupação aumenta em regiões de baixa disponibilidade hídrica ou em épocas de estiagem (GARCIA-CUERVA; BERGLUND; BINDER, 2016).

Estima-se que quase 80% da população mundial estará exposta a ameaça hídrica (secas ou enchentes) e que 65% da área do Planeta Terra possa vir a ter problemas hídricos (VÖRÖSMARTY et al., 2010). Sendo esse problema mais agrave em regiões áridas e semiáridas, pois naturalmente já possuem características de baixa precipitação e elevada demanda atmosférica. No Brasil essa região ocupa cerca de 11% do território nacional (SUDENE, 2017) e nos últimos 25 anos apresentou 16 anos com chuvas abaixo da média histórica (MARENGO et al., 2017). Esses anos considerados como secos, comprometem a recarga dos corpos hídricos (rios, lagos, barragens, etc), por diminuir de forma considerável o escoamento superficial (SILVA et al., 2017).

A maior parte da produção agropecuária dessa região é dependente das chuvas, assim, é uma região vulnerável as secas atuais, anteriores e futuras (MARENGO et al., 2017). Devido a elevada variabilidade temporal das chuvas, trona-se complexo traçar um planejamento anual agrícola para a região Semiárida do Nordeste brasileiro (ALBUQUERQUE et al., 2018). Assim, são necessários investimentos mais eficientes na infraestrutura hídrica da região Semiárida, onde cada localidade tem suas particularidades, sendo que a construção de tubulações e canais pode não ser a melhor solução na maioria dos casos (CIRILO; MONTENEGRO; CAMPOS, 2017).

3 Reuso de água na agricultura

Os países desenvolvidos reduzem o risco hídrico com altos investimentos no setor hídrico, chegando a reduzir a ameaças de alto risco em 95% (VÖRÖSMARTY et al., 2010). No entanto, em países em desenvolvimento onde os recursos financeiros ainda são limitados, a busca por fontes alternativas de recursos hídricos, como a utilização de águas residuárias, diminui a busca por água de boa qualidade, vindo a ser uma tendência mundial (REBOUÇAS et al., 2010). Reusar a água pode reduzir significativamente as demandas por água doce e fornecer estratégias sustentáveis de gerenciamento de água, além disso o reúso apresenta a

vantagem de menor gasto energético, quando comparados a outras forma de aumentar a disponibilidade hídrica como a dessalinização e a transferência de água entre bacias (GARCIA-CUERVA; BERGLUND; BINDER, 2016).

As águas residuárias advindas de sistemas de tratamento, geralmente são utilizadas pela indústria, recarga de aquíferos e uso agrícola (HESPANHOL, 2002). Sendo que para uso agrícola tem ganhado destaque, pois diminui o volume de água de boa qualidade consumida por essa atividade e representar uma fonte de nutrientes (SCHAER-BARBOSA; SANTOS; MEDEIROS, 2014). Embora a água residuária forneça quantidades consideráveis de nutrientes às plantas, também é tipicamente caracterizado por elevado teor de sais dissolvidos, o que pode prejudicar o rendimento das culturas agrícolas e degradar o solo (EREL et al., 2019).

Considerando-se os efeitos deletérios da salinização para a qualidade do solo, torna-se cada vez mais importante monitorar a salinidade, visando melhora a compreensão da dinâmica e dos processos afetados pela aplicação de águas residuárias (MENEZES; MATTOS, 2018). A evolução do processo de salinização e sodificação dos solos dependem da concentração de sais da água, da salinidade inicial dos solos receptores, das condições climáticas e, principalmente, das propriedades físicas dos solos que pode facilitar ou dificulta a lixiviação dos sais (LOY et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018).

Além disso, o público geralmente se opõe ao uso de água residuária pois associam a mesma à ideia de reciclagem de esgoto, e o medo de que a exposição a essa água seja insegura (GARCIA-CUERVA; BERGLUND; BINDER, 2016). Essa rejeição diminui consideravelmente em regiões com baixa disponibilidade hídrica, como o Semiárido brasileiro, todavia o receio de contaminação dos alimentos permanece (SCHAER-BARBOSA; SANTOS; MEDEIROS, 2014). Mesmo ciente dos riscos, no Brasil a Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que trata sobre a classificação e uso de água, não estabelece critérios específicos para águas de reúso. Diante dessa situação, sistemas de tratamento que reduzam o máximo possível as cargas de contaminantes na água de reúso, bem como evitar a utilização em plantas que são consumidas de forma direta pelo ser humano, como parte das olericulturas, são estratégias de manejo que reduzem o risco de contaminação.

A utilização de águas cinzas surge então como uma das opções mais seguras para ser utilizada na agricultura irrigada, uma vez que a mesma não recebe a água da descarga das

residências, o que contribui para uma redução significativa da carga de contaminantes (LEONG et al., 2017). Esse tipo de água, por ter menos agentes patogênicos, geralmente passa apenas por um sistema de filtragem para reter gordura e material orgânico em suspensão, e logo após é utilizada para irrigação. Assim, pode-se afirmar que essa tecnologia atende os padrões de baixo custo e de fácil assimilação pelas comunidades, podendo ser considerada viável em países em desenvolvimento (CIRILO; MONTENEGRO; CAMPOS, 2017).

No entanto, em uma cidade é muito difícil a instalação de um sistema de captação de águas cinzas, visto que demandaria duas redes de coleta, o que é atualmente pouco provável de acontecer, pois depende do interesse público e da conscientização da sociedade, sem falar no elevado custo para mudar o sistema de coleta de esgoto. Todavia, esse sistema pode ser instalado nas residências rurais, que no Brasil, de uma forma geral não possuem sistemas de saneamento e tratamento de esgotos, deixando por conta do proprietário rural a destinação dos dejetos, que quase sempre se dá por meio de fossa negra (BERTONCINI, 2008). A implantação desse sistema aumenta a disponibilidade hídrica de uma região de forma considerável, tomando como exemplo a região Semiárida que possui 8.587.360 habitantes na zona rural (INSA, 2012), considerando uma produção média-baixa de 100 L por dia por habitante de água residuária (BRANDÃO; CARLOS; LIMA, 2014), geraria um montante de 313.438.670 m³ de águas cinzas por ano, que poderia ser utilizada para irrigação.

A irrigação com águas cinzas não influenciou na produção do milho, contudo, algumas características bromatológicas foram prejudicadas pela aplicação dessa água sem diluição em água de boa qualidade (SOTERO et al., 2018). Assim, ainda são necessários mais estudos sobre o reúso de águas cinzas, antes que as mesmas passem a fazer parte de políticas públicas, visto que seus impactos sobre o solo, desenvolvimento da planta, sistemas de irrigação e contaminação das pessoas, ainda não estão claros.

4 Redução da lâmina de irrigação

Os recursos hídricos devem ser geridos de forma sustentável para alcançar um equilíbrio adequado entre demanda e consumo de água (MASHHADI ALI; SHAFIEE; BERGLUND, 2017). Todavia, a água é muitas vezes o recurso mais barato para se aumentar a produtividade das culturas (SAVIC et al., 2011). Contudo, a água de boa qualidade tem ficado cada vez mais escassa, sendo comum a utilização de águas de qualidade inferior para irrigação, que provocam redução na produtividade das culturas e degradação do solo. Visando uma economia de água de boa qualidade, bem como, a redução da aplicação de águas de

baixa qualidade, a redução da lâmina de irrigação têm diminuído esses impactos. A otimização do uso da água na agricultura é fundamental, principalmente em áreas onde a água é mais escassa, exigindo a adoção de tecnologias que promovam o aumento da eficiência da irrigação (SANTOS et al., 2018).

A aplicação de água abaixo dos requisitos para máxima produção das culturas, aumenta a eficiência do uso da água (LI et al., 2018; MEDICI et al., 2014). Por fornecer quantidades de irrigação abaixo do nível máximo de demanda por água da planta, visando rendimentos praticamente estáveis, isso permite economizar até 20 a 40% de água com reduções de rendimentos inferiores a 10% a depender da espécie/cultivar (DAVIES et al., 2011). Se a produção da cultura declina linearmente com deficit hídrico, a redução da lâmina de irrigação não será benéfica para os produtores, porque a eficiência do uso da água ficará constante (COMAS et al., 2019).

As respostas das plantas ao deficit hídrico dependem da quantidade de água perdida por transpiração, da taxa de perda e da duração da condição estressante (BRAY, 1997). No entanto, é necessário ter conhecimento da condição de umidade crítica da cultura, sendo que valores abaixo dessa umidade podem reduzir de forma considerável o rendimento da cultura (JONG VAN LIER, 2010). Esse valor de umidade crítica varia com a cultivar e fase fenológica da planta, o que torna sua determinação trabalhosa.

Desse modo, nem sempre o cultivo sobre deficit hídrico pode ser vantajoso, uma vez que a quantidade de água fornecida é abaixo da quantidade de água requerida pela mesma, que quando combinada com outros fatores, geram incertezas sobre a produção (KÖGLER; SÖFFKER, 2017). Como exemplo, pode-se citar o aumento do deficit de pressão de vapor da atmosfera (DPV), que quando ocorre sob baixas condições de umidade do solo, a transpiração é ainda mais limitada (SINCLAIR et al., 2017). Um maior DPV aumenta a demanda da atmosférica por água e, assim, aumenta a perda de água por unidade de CO₂ fixada, reduzindo a eficiência no uso da água (UNKOVICH; BALDOCK; FARQUHARSON, 2018).

A transpiração é reduzida por meio do fechamento estomático, para que as plantas possam manter o seu status hídrico. Contudo, isso acarreta em uma menor absorção de CO₂, contribuindo para menores rendimentos da planta. Além do menor acúmulo de biomassa, a menor assimilação de CO₂, promove redução na velocidade do Ciclo de Calvin, acarretando em uma sobra de elétrons devidos da parte fotoquímica da fotossíntese, podendo resultar na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (SILVA et al., 2010). A redução do fluxo

transpiratório também limitará a absorção de nutrientes, em consequência do comprometimento da via apoplástica de transporte de água, essa é a principal via de transporte de água+nutrientes de forma passiva na planta, dependendo exclusivamente do gradiente hidráulico gerado pelo processo de transpiração (STEUDLE; PETERSON, 1998). Por outro lado, as alterações metabólicas dependem da intensidade do deficit hídrico e do número de eventos estressantes (BARROS et al., 2018).

A expansão foliar é considerada mais sensível ao deficit hídrico, do que a condutância estomática e a senescência das folhas, pois as reduções na área foliar são proporcionalmente maiores em comparação a essas duas últimas variáveis (STEDUTO et al., 2009). Sendo que essa redução na área foliar é um importante mecanismo morfológico para convivência com o estresse hídrico (OLIVEIRA et al., 2011). A redução na área foliar proporciona diminuição no fluxo transpiratório das plantas, acarretado em uma menor demanda por água (TAIZ; ZEIGER, 2013). No entanto, uma menor área foliar influencia significativa na menor captação total de CO₂ pela planta. Apesar de a condutância estomática ser considerada menos sensível ao deficit hídrico, a sua redução limitará a fotossíntese gerando danos direto e indiretos ao metabolismo das plantas (MUNNS et al., 2010).

Assim, plantas que conseguirem manter a assimilação de CO₂ perdendo menos água pelo processo de transpiração, são mais promissoras para estudos com deficit hídrico, pois terão uma maior eficiência na utilização da água. Sendo essa característica mais comum em espécies com metabolismo fotossintético C₄ e CAM (TAIZ; ZEIGER, 2013). Dessa forma, estudos com espécies vegetais com alta eficiência na utilização de água, sob condições de baixa disponibilidade de água, contribuem visando projeções futuras, visto que, se torna possível fazer uma estimativa de quanto a produtividade será reduzida, quando a água de irrigação for limitada.

5 Adubação orgânica como manejo para atenuar os efeitos do deficit hídrico

O cultivo de plantas sob deficit hídrico, além de economizar água, pode reduzir o rendimento das culturas a depender da intensidade. Para tentar minimizar os efeitos do deficit hídrico, algumas técnicas têm sido estudadas, dentre elas a adubação, visto que plantas bem nutridas conseguem melhor desenvolvimento sob condições de baixa disponibilidade hídrica (EYSHI REZAEI et al., 2014). No entanto, os altos custos dos fertilizantes industrializados e seus impactos sobre o meio ambiente, têm levado pesquisadores a buscar novas alternativas, como a adubação orgânica.

A adição de matéria orgânica ao solo acarreta diversos benefícios além do aumento da fertilidade do solo, pois melhora as propriedades físicas do solo e incrementa a atividade microbiota do solo, sendo essa última fundamental para o processo de estabilidade do agroecossistemas (SINGH; PANDEY; SINGH, 2011). O aumento na atividade da microbiota é de suma importância, visto que os microrganismos presentes no solo aumentam a tolerância das plantas aos estresses abióticos, por aumentar a disponibilidade de nutrientes e a eficiência de bactérias promotoras do crescimento (VIMAL et al., 2017). Assim, a atenuação do estresse hídrico pode não ser só pela disponibilidade de nutrientes, mais também por promover a ação de microrganismos específicos, como as bactérias promotoras de crescimento, que de forma natural encontram-se em baixas populações no solo, mas a adubação orgânica pode incrementar a atividade das mesmas de forma natural (KAUSHAL; WANI, 2016).

Dentre os principais adubos orgânicos utilizados na agricultura, pode-se destacar o esterco de animais, por aumentar a capacidade de troca de cátions, reduzir o pH do solo, além dos benefícios físicos e biológicos ao solo (ROUSSOS et al., 2017). A aplicação de estrume como condicionador de solo, com estirpes microbianas adequadas, podem aumentar as associações de plantas-micróbios e aumentar a produção das culturas (VIMAL et al., 2017). No entanto, os mesmos autores ressaltam que esses estudos precisam ser mais aprimorados em condições de campo, onde a competição é bem maior, sendo que os microrganismos presente no estrume sairiam em vantagem, por na maioria das vezes, já serem adaptados a tais situações de competição e interação.

Apesar das vantagens na utilização do esterco de animais, a sua manipulação deve ser de forma cuidadosa, devido ao risco de contaminação do solo, da planta e do homem, por meio de vermes, coliformes e excesso de nitrogênio (ABREU JÚNIOR, 2005). Além disso, estudo com milho em condições de cultivo de sequeiro tem demonstrado, que a adubação com esterco pode elevar o risco do cultivo, uma vez que, a adubação promove um rápido crescimento da parte aérea, que quando submetida a deficiência hídrica entra rapidamente em senescência (AFFHOLDER, 1995). Uma maior emissão de perfilhos promovida por um manejo nutricional equilibrado, também promoverá um maior consumo de água (THARANYA et al., 2018). Quando a área foliar da planta aumenta há um incremento na evapotranspiração do cultivo, pois uma maior área foliar começa a transpirar (SANTOS et al., 2018).

6 A cultura do milheto

O milheto é uma planta de ciclo anual, pertencente à família Poaceae e ao gênero *Pennisetum* (BRUNKEN, 1977), originário de regiões de clima tropical semiárido do continente africano, posteriormente disperso para a Ásia, onde ocorre os mais importantes centro de diversidade genética da espécie (KUMAR; NIOMEY, 1989). O milheto foi introduzido no Brasil, por um padre italiano no início da década de 60, no estado do Rio Grande do Sul, mediante sementes da variedade comum, por isso, ficou conhecido vulgarmente naquele Estado, como pasto italiano ou capim-charuto. Esta cultura tem sido utilizada no Brasil de diversas formas: como forrageira para pastoreio, produção de grãos, fabricação de ração animal, produção de silagem e planta formadora de cobertura morta do solo em sistemas de planto direto (PEREIRA FILHO, et al., 2003).

A espécie *Pennisetum glaucum* é uma gramínea anual de verão, tem crescimento inicial lento, mas depois de certo estágio se desenvolve rapidamente de forma ereta, podendo superar 3 metros de altura, formando colmos robustos, com excelente produção de perfilhos e vigorosa rebrota após corte ou pastejo. O seu sistema radicular agressivo é capaz de explorar um grande volume de solo, o que tonar a planta muito eficiente na absorção de água e nutrientes, explicando em grande parte a sua tolerância ao estresse hídrico e seu bom desenvolvimento em solos de baixa fertilidade (AGUIAR et al., 2012). Existe uma associação entre o aumento do sistema radicular com a produção de grãos, fitomassa e transpiração do milheto (THARANYA et al., 2018)

O milheto por ser adaptado às altas temperaturas e deficit hídricos moderados (NELSON et al., 2018). Assim, essa espécie vem se tornando uma cultura-chave, à medida que aumentam cada vez mais as restrições à irrigação de culturas em regiões áridas e semiáridas. Pois apresenta elevada eficiência no uso da água, mesmo quando submetida a 40% da água disponível no solo (ROSTAMZA et al., 2011). No entanto, a tolerância a seca é um fator intrínseco de cada cultivar, sendo que para as condições do Semiárido brasileiro, bons resultados têm sido encontradas para a cultivar IPA-BUK-1, que além de ser tolerante ao deficit hídrico moderado, apresenta alta qualidade de forragem (SANTOS et al., 2017). Ainda, os efeitos do estresse hídrico sobre o milheto vão depender do manejo e sistema de irrigação utilizado no cultivo (ISMAIL; EL-NAKHALWY; BASAHI, 2018). Além disso, está espécies é uma das plantas forrageiras mais tolerantes ao estresse salino (SILVA et al., 2018).

7 Referências

- ABREU JUNIOR, C. H. et al. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos Ciência do Solo**, v. 4, p.391-470, 2005.
- AFFHOLDER, F. Effect of organic matter input on the water balance and yield of millet under tropical dryland condition. **Field Crops Research**, v. 41, n. 2, p. 109–121, 1995.
- AGUIAR, A. A. S. et al. Desenvolvimento do milho sob adubação orgânica no município de Corrente – PI. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 7, n. 4, p. 90-96, 2012.
- ALBUQUERQUE, S. et al. Condições hídricas e crescimento vegetal de culturas agrícolas importantes para comunidades indígenas do semiárido brasileiro. **Revista Ceres**, v. 65, n. 2, p. 111–119, 2018.
- BARROS, V. et al. Plant Physiology and Biochemistry Arbuscular mycorrhizal fungi improve photosynthetic energy use e ffi ciency and decrease foliar construction cost under recurrent water de fi cit in woody evergreen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 127, p. 469–477, 2018.
- BERTONCINI, E. I. Tratamento De Efluentes E Reúso Da Água No Meio Agrícola. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, v. 1, n. 1, p. 152–169, 2008.
- BRANDÃO, M.; CARLOS, B.; LIMA, E. P. **Reúso de água na agricultura**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2014.
- BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Tendências em Ciência das Plantas**, v. 2, n. 2, p. 48–54, 1997.
- BRUNKEN, A.V. A systematic study of *Pennisetum* Sect *Pennisetum* (graminea). **American Journal of Botany**, New York, v.64, n.2, p.161-176, 1977.
- CHRISTOFIDIS, D. Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. **Revista de Ciências Exatas**, v. 12, n. 1, p. 37–46, 2006.
- CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. The Issue of Water in the Brazilian Semi-Arid Region. In: **Waters of Brazil**. Cham: Springer International Publishing, 2017a. p. 59–71.
- CIRILO, J. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; CAMPOS, J. N. B. The Issue of Water in the Brazilian Semi-Arid Region. p. 59–71, 2017b.
- COMAS, L. H. et al. Water productivity under strategic growth stage-based de fi cit irrigation in maize. **Agricultural Water Management**, v. 212, n. 1, p. 433–440, 2019.
- DAVIES, W. J. et al. Novel crop science to improve yield and resource use efficiency in water-limited agriculture. **The Journal of Agricultural Science**, v. 149, n. S1, p. 123–131, 2011.
- EREL, R. et al. Long-term irrigation with reclaimed wastewater: Implications on nutrient management , soil chemistry and olive (*Olea europaea* L.) performance. **Agricultural Water Management**, v. 213, n. 1, p. 324–335, 2019.

- EYSHI REZAEI, E. et al. Combined impacts of climate and nutrient fertilization on yields of pearl millet in Niger. **European Journal of Agronomy**, v. 55, p. 77–88, 2014.
- GARCIA-CUERVA, L.; BERGLUND, E. Z.; BINDER, A. R. Public perceptions of water shortages, conservation behaviors, and support for water reuse in the U.S. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 113, p. 106–115, out. 2016.
- HARLEM, G. et al. **The Global Water Crisis: Addressing an Urgent Security Issue**. UNU-INWER ed. Hamilton: [s.n.].
- HESPANHOL, I. Potencial de Reuso de Águas no Brasil: Agricultura, Municípios, Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 4, p. 75–95, 2002.
- INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro**. Campina Grande -PB, 2012, 107p.
- ISMAIL, S. M.; EL-NAKHALWY, F. S.; BASAHI, J. M. Sudan grass and pearl millets productivity under different irrigation methods with fully irrigation and stresses in arid regions. **Grassland Science**, v. 64, p. 29–39, 2018.
- JONG VAN LIER, Q. Física do Solo. In: JONG VAN LIER, Q. (Ed.). **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 1ª Edição ed. Viçosa-MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 298.
- KAUSHAL, M.; WANI, S. P. Agriculture , Ecosystems and Environment Rhizobacterial-plant interactions: Strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 231, p. 68–78, 2016.
- KÖGLER, F.; SÖFFKER, D. Water (stress) models and deficit irrigation: System-theoretical description and causality mapping. **Ecological Modelling**, v. 361, p. 135–156, 2017.
- KUMAR, K. A.; NIOMEY, P. Pearl millet: current status and future potencial. **Outlook on Agriculture**, v. 2, n. 8, p. 46-53, 1989.
- LEONG, J. Y. C. et al. Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralised system for water recycling and reuse: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3014–3027, 2017.
- LI, X. et al. Deficit irrigation provokes more pronounced responses of maize photosynthesis and water productivity to elevated CO₂. **Agricultural Water Management**, v. 195, p. 71–83, 2018.
- LOY, S. et al. Science of the Total Environment The effect of municipal treated wastewater on the water holding properties of a clayey , calcareous soil. **Science of the Total Environment**, v. 643, p. 807–818, 2018.
- MARENGO, J. A. et al. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, p. 1–13, 2017.
- MASHHADI ALI, A.; SHAFIEE, M. E.; BERGLUND, E. Z. Agent-based modeling to simulate the dynamics of urban water supply: Climate, population growth, and water shortages. **Sustainable Cities and Society**, v. 28, p. 420–434, 2017.
- MEDICI, L. O. et al. What about keeping plants well watered? **Environmental and Experimental Botany**, v. 99, p. 38–42, 2014.

- MENEZES, L. A. N.; MATTOS, A. T. Condutividade elétrica do solo em função da dose de aplicação de água residuária em áreas de fertirrigação. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 4, p. 383–389, 2018.
- MUNNS, R. et al. New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 13, p. 3499–3507, 1 ago. 2010.
- NELSON, W. C. D. et al. Field Crops Research Testing pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. **Field Crops Research**, v. 217, p. 150–166, 2018.
- OLIVEIRA, A. M. et al. Impactos físico-químicos do descarte de rejeito salino em neossolo e chernossolo do oeste potiguar, Brasil. **Revista Irriga**, v. 23, n. 3, p. 413–425, 2018.
- OLIVEIRA, F. D. A. DE et al. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação Performance of lettuce cultivars under different salinity levels of irrigation water. n. 84, p. 771–777, 2011.
- PEREIRA FILHO, I.A. et al. Manejo da cultura do milheto. Sete Lagoas, MG: **Empresa brasileira de pesquisa agropecuária – EMBRAPA-CNPMS**, 2003. (Circular Técnica, 28). Disponível em: <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2003/circular/Circ_29.pdf>. Acesso em: 01 de setembro de 2017.
- REBOUÇAS, J. R. L. et al. Crescimento do feijão-caupi com água residuária de esgoto doméstico tratado. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 1, p. 97–102, 2010.
- ROSTAMZA, M. et al. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 10, p. 1607–1614, 1 ago. 2011.
- ROUSSOS, P. A. et al. Impact of organic fertilization on soil properties, plant physiology and yield in two newly planted olive (*Olea europaea* L.) cultivars under Mediterranean conditions. **Scientia Horticulturae**, v. 220, p. 11–19, 2017.
- SANTOS, D. P. et al. Performance of methods for estimation of table beet water requirement in Alagoas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 3, p. 189–193, 2018.
- SANTOS, R. et al. Divergence in agronomic traits and performance of pearl millet cultivars in Brazilian semiarid region. **Grassland Science**, v. 63, n. 2, p. 118–127, 2017.
- SAVIC, S. et al. Deficit Irrigation Technique for Reducing Water Use of Tomato Under Poly tunnel Conditions. **Journal of Central European Agriculture**, v. 12, n. 4, p. 590–600, 2011.
- SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P. DOS; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17–32, 2014.
- SILVA, C. L. et al. Technologies for rational water use in Brazilian agriculture. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 11, n. 2, p. 239, 15 abr. 2016.

- SILVA, E. N. et al. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 10, p. 1130–1137, 2010.
- SILVA, J. R. I. et al. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, p. 1–10, 2017.
- SILVA, J. R. I. et al. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Revista Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 11, n. 3, p. 127–139, 2018.
- SINCLAIR, T. R. et al. *Plant Science*. v. 260, p. 109–118, 2017.
- SINGH, J. S.; PANDEY, V. C.; SINGH, D. P. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, n. 3–4, p. 339–353, 2011.
- SOTERO, A. R. H. et al. Bromatological analysis of millet cv. Ceará (*Pennisetum glaucum*) irrigated with treated gray water dilutions in well water. **International Journal of Hydrology**, v. 2, n. 5, p. 637–641, 2018.
- STEDUTO, P. et al. AquaCrop—The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 426, 2009.
- STEUDLE, E.; PETERSON, C. A. How does water get through roots? **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 322, p. 775–788, 1998.
- SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE. **Nova delimitação do Semiárido**. 2017. Disponível em: http://sudene.gov.br/images/arquivos/semiarido/arquivos/Rela%C3%A7%C3%A3o_de_Munic%C3%ADpios_Semi%C3%A1rido.pdf acessado em 20 de Janeiro de 2019.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- THARANYA, M. et al. Quantitative trait loci (QTLs) for water use and crop production traits co - locate with major QTL for tolerance to water deficit in a fine - mapping population of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 131, n. 7, p. 1509–1529, 2018.
- UNKOVICH, M.; BALDOCK, J.; FARQUHARSON, R. Field measurements of bare soil evaporation and crop transpiration , and transpiration e ffi ciency , for rainfed grain crops in Australia – A review. **Agricultural Water Management**, v. 205, p. 72–80, 2018.
- UPPAL, R. K. et al. Balanced nutrition increases yield of pearl millet under drought. **Field Crops Research**, v. 177, p. 86–97, 2015.
- VIMAL, S. R. et al. Soil-Plant-Microbe Interactions in Stressed Agriculture Management : A Review. **Pedosphere: An International Journal**, v. 27, n. 2, p. 177–192, 2017.
- VÖRÖSMARTY, C. J. et al. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 468, n. 7321, p. 334–334, 2010.

CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO E TROCAS GASOSAS DE *Pennisetum glaucum* SOB IRRIGAÇÃO COM ÁGUA CINZA E ADUBAÇÃO ORGÂNICA

Resumo

A irrigação com água residuária apresenta-se como uma nova alternativa para aumento da oferta hídrica destinada a produção agropecuária nas regiões semiáridas. Diante deste contexto objetivou-se avaliar os efeitos de diferentes regimes hídricos de água residuária (água cinza), proveniente de esgotos domésticos rurais, sobre a dinâmica do crescimento e as respostas fotossintéticas de plantas de milho com e sem adubação orgânica. A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido no período de setembro a novembro de 2017, em delineamento de blocos casualizados, com esquema fatorial (4 x 2 + 1) com três repetições, tendo como primeiro fator as lâminas de irrigação com água cinza (25, 50, 75 e 100% da água disponível do solo) e o segundo constituído por doses de esterco bovino (0 e 34 Mg ha⁻¹), acrescentando-se ainda um tratamento controle (irrigação com 100% da água disponível com água do abastecimento público e sem adubação). Ao longo do ciclo da cultura foram realizadas oito avaliações biométricas (comprimento de colmo e número de folhas vivas), quatro de trocas gasosas e após 60 dias de aplicação dos tratamentos determinou-se a massa seca das plantas. Constatou-se que a irrigação com a água cinza não promove impactos negativos sob o crescimento e acúmulo de fitomassa de milho, contudo, torna-se necessário a adubação para que um maior crescimento e rendimento do milho sejam alcançados. A massa de perfilhos basais foi o componente da planta mais favorecido pela adição de esterco ao solo, além disso, esta adubação aumentou a eficiência no uso da água em 120%. O estresse hídrico só começa a afetar as trocas gasosas do milho a partir dos 45 dias de irrigação deficitária, mesmo assim foi suficiente para reduzir significativamente o rendimento do milho quando irrigado com 25% da água disponível e adubado.

Palavras-chave: lâminas de irrigação, eficiência no uso da água, fotossíntese, milho.

Abstract

Irrigation with wastewater presents itself as a new alternative for increasing the water supply for agricultural production in semiarid regions. The objective of this study was to evaluate the effects of different water regimes of wastewater (graywater) from rural sewage, on the dynamics of growth and photosynthetic responses of millet plants with and without organic fertilization. The research was conducted in a protected environment from September to November 2017, in a randomized complete block design, with a factorial scheme (4 x 2 + 1) with three replications. The first factor was irrigation with gray water (25, 50, 75 and 100% of

available soil water) and the second consisting of doses of bovine manure (0 and 34 Mg ha⁻¹), and a control treatment (irrigation with 100% water available with water from the supplied public and without fertilization). During the crop cycle, eight biometric evaluations were performed (stem length and the number of live leaves), four of the gaseous exchanges and 60 days after application of the treatments the dry mass of the plants was determined. It was verified that the irrigation with gray water does not promote negative impacts under the growth and accumulation of millet phytomass; however, it is necessary the fertilization so that higher growth and yield of the millet are reached. The basal tiller mass was the most favored plant component by the addition of manure to the soil; also, this fertilization increased water use efficiency by 120%. Water stress only begins to affect the millet gas changes from the 45 days of deficit irrigation, even though it was enough to significantly reduce millet yield when irrigated with 25% of available water and fertilized.

Keywords: irrigation water depths, water use efficiency, photosynthesis, millet.

1 Introdução

A irregularidade das chuvas é o principal fator que limita a produção agrícola e pecuária nas regiões semiáridas. Essa situação tende a piorar em consequência do aquecimento global, com provável aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de estiagem (IPCC, 2014). A utilização de água de esgoto doméstico na irrigação é uma estratégia de manejo que busca minimizar os impactos da escassez hídrica nessas regiões. O reúso de água residuária tem se destacado por diminuir o volume usado de água de boa qualidade nas atividades agrícolas, além de representar uma fonte de nutrientes para as plantas, principalmente durante os períodos de prolongadas estiagens (SCHAER-BARBOSA; SANTOS; MEDEIROS, 2014).

Dentre os tipos de água residuária (água negra e água cinza), sendo que a água cinza contém menos poluentes, pois não recebe as dejeções de latrinas residenciais (LEONG et al., 2017); além disso, o seu tratamento é mais barato, uma vez que a água utilizada na irrigação passa apenas por um sistema de filtragem para retirada de materiais em suspensão. Contudo, esse tipo de sistema possui limitações operacionais para instalação em áreas urbanas, pois seria necessário duas redes de coleta (i.e., uma para água negra outra para água cinza), sendo sua instalação mais fácil em residências rurais. Tomando como base uma produção de água residuária média baixa de 100 litros por pessoa dia (BRANDÃO; CARLOS; LIMA, 2014), seria produzido 36.500 litros por pessoa ano de águas cinzas, desconsiderando as perdas do

sistema. Assim, a implantação desse tipo de sistema de reúso de água, tem potencial para aumentar a disponibilidade de água para irrigação em regiões com limitações de precipitação.

A quantidade de água aplicada via irrigação as culturas também desempenha um papel significativo na otimização dos recursos hídricos (ISMAIL et al., 2017). Sendo que reduções das lâminas de irrigação têm sido estudadas como forma de aumentar a eficiência no uso da água, pois o declínio na produção das culturas são inferiores as reduções das lâminas de irrigação (MEDICI et al., 2014). Por outro lado, a redução no volume de água aplicado as culturas pode acarretar distúrbios na fisiologia e no metabolismo das plantas, causando redução da transpiração, através do fechamento estomático, o que acarreta em uma menor absorção de CO₂ contribuindo para o menor crescimento das plantas (AL-SOLAIMANI et al., 2017; CHAVES et al., 2016; ZHANG et al., 2013).

Por ser uma espécie de origem tropical, o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), caracteriza-se por sua adaptação à regiões com baixa precipitação e altas temperaturas do ar (MELO; FERNANDES; GALVÃO, 2015), demonstrando ser uma espécie promissora para o cultivo em regiões semiáridas, sob condições de irrigação deficitária. Além disso, o milheto é um alimento de qualidade para os rebanhos, podendo substituir parcialmente o milho e o sorgo, espécies mais exigentes em água e nutrientes, na dieta dos animais (BRUNETTE; BAURHOO; MUSTAFA, 2016).

A tolerância ao deficit hídrico no milheto, pode ser maior quando o cultivo está sob manejo nutricional adequado (UPPAL et al., 2015). Apesar de a água residuária possuir nutrientes dissolvidos, não disponibiliza os nutrientes de forma satisfatória para algumas culturas, necessitando de complementação por fertilização mineral ou orgânica (SANTOS JÚNIOR et al., 2015). No entanto, os altos custos dos fertilizantes industrializados e seus impactos sobre o meio ambiente, tem levado pesquisadores a buscar novas alternativas, como a adubação orgânica. Que além da melhoria das características físicas e de fertilidade do solo, causa incrementos na atividade de microrganismos do solo (VIMAL et al., 2017).

Diante do contexto, objetivou-se estudar os efeitos de diferentes regimes hídricos de água residuária, proveniente de esgotos domésticos rurais, sob a dinâmica do crescimento e respostas fotossintéticas do milheto (*P. glaucum*) conduzido com e sem adubação orgânica.

2 Material e métodos

A pesquisa foi conduzida no período de setembro a novembro de 2017, em ambiente protegido na Universidade Federal Rural de Pernambuco Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Semiárido brasileiro (altitude: 429 metros, latitude: 7° 56' 15" S e longitude: 38° 18'

45'' O). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BShw' semiárido, quente e seco. As condições meteorológicas (médias diárias) da casa de vegetação durante a condução do experimento foram temperatura de $30,09 \pm 1,57$ °C e umidade relativa do ar de $44,00 \pm 5,48\%$. Foi adotado o delineamento em blocos casualizados, no esquema fatorial $4 \times 2 + 1$ (testemunha) com três repetições, sendo o primeiro fator as lâminas de irrigações com água residuária (25, 50, 75 e 100% de água disponível do solo) e o segundo fator adubação orgânica (com e sem aplicação de esterco bovino). Já a testemunha, recebeu irrigação com água do abastecimento urbano (Tabela 1) com lâmina equivalente a 100% da água disponível do solo e não recebeu adubação.

A água residuária, características químicas na Tabela 1, foi coletada em uma residência rural do Município de Carnaíba – PE, é originada de um sistema que capta a água proveniente do banho, da cozinha e da lavagem da roupa da família residente. O sistema de filtragem é constituído por uma caixa de retenção de gordura, um tanque de filtragem (formado por uma camada superficial de carvão vegetal, seguidas por camadas de brita grossa, areia grossa, areia fina e brita fina, respectivamente) cuja função é reter as partículas maiores da própria gordura, restos de sabão e materiais orgânicos em suspensão que não foram retidos na caixa de gordura, e por último, um tanque tranquilizador, onde é captada a água utilizada para irrigação (Figura 1).

Tabela 1. Análise química da água de abastecimento urbano (AA) e da água residuária (AR) utilizadas na irrigação do milheto.

Elementos	AA	AR	Elementos	AA	AR
Cálcio (mmol L ⁻¹)	0,64	2,20	Cloretos (mmol L ⁻¹)	0,60	9,60
Magnésio (mmol L ⁻¹)	0,48	0,68	Cobre (mg L ⁻¹)	0,04	0,06
Sódio (mmol L ⁻¹)	0,32	17,04	Ferro (mg L ⁻¹)	0,08	0,08
Potássio (mmol L ⁻¹)	0,07	0,46	Manganês (mg L ⁻¹)	0,03	0,05
Carbonato (mmol L ⁻¹)	0,00	0,24	Zinco (mg L ⁻¹)	0,05	0,05
Bicarbonato (mmol L ⁻¹)	0,40	4,00	Potencial hidrogeniônico (pH)	7,20	7,75
Sulfatos (mmol L ⁻¹)	0,04	0,17	Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,20	0,98

A cultivar de milheto IPA-Buck-1 BF (*P. glaucum*) foi semeada em vasos com capacidade para 18 litros, vasos estes preenchidos com solo até atingir uma densidade de $1,30 \text{ g cm}^{-3}$. Esse solo foi coletado na camada de 0-20 cm de um Cambissolo Háplico, após a coleta o solo foi destorroado e peneirado (malha de 4 mm). As características químicas e físicas desse solo são: $40,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de fósforo; 43 mg dm^{-3} de ferro; $0,68 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de potássio;

1,30 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de cálcio; 0,27 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de sódio; 1,0 $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de hidrogênio + alumínio; 0,88 % de matéria orgânica; 72,2 % de areia; 17,2 % de silte; 10,5 de argila; 7,1 de potencial hidrogeniônico. Para os tratamentos que receberam esterco, o mesmo foi adicionado ao solo e homogeneizado para posterior preenchimento dos vasos, sendo adicionado 645 g de esterco por vaso, equivalente a dose de 34 Mg ha^{-1} , segundo Nicolau Sobrinho et al. (2009) dose suficiente para pleno crescimento do milheto. Sendo que as características químicas do esterco são: 10,44 g kg^{-1} de nitrogênio; 5,28 g kg^{-1} de fósforo; 10,50 g kg^{-1} de potássio; 11,20 g kg^{-1} de cálcio; 6,85 g kg^{-1} de magnésio; 113,29 g kg^{-1} de carbono e 11 g kg^{-1} de relação carbono:nitrogênio.

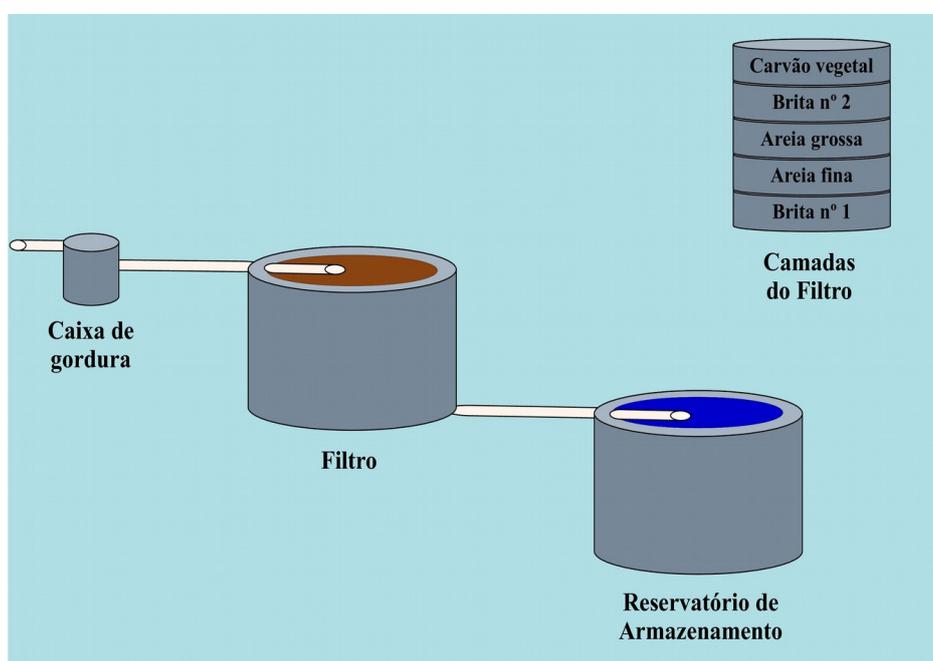


Figura 1. Ilustração do sistema de filtragem de água residuária instalado pela Organização Não Governamental Diaconia em residências rurais no Semiárido pernambucano.

Para definição da água disponível do solo (AD), foi determinada a umidade do solo na capacidade de campo (CC) nos próprios vasos, seguindo a metodologia de Cassaroli e Jong van Lier (2008), e do ponto de murcha permanente (PMP), submetendo amostras de solo indeformadas a uma tensão de 15 ATM na Câmara Extratora de Richards. A água disponível do solo (AD) é o resultado da subtração do PMP da umidade na CC. Os procedimentos descritos para determinação da AD foram realizados para amostras de solo com e sem esterco, obtendo os seguintes resultados para o solo sem esterco: 0,18 g g^{-1} e 0,03 g g^{-1}

respectivamente, para CC e PM; para o solo com esterco estes valores foram de 0,20 g g⁻¹ e 0,05 g g⁻¹ referente à CC e PM, respectivamente.

Na ocasião da sementeira, foram distribuídas nove sementes por vaso, sendo colocadas a 2,0 cm de profundidade. Considerou-se como período de formação do estande da emergência das plântulas até o décimo quinto dia após emergência. Neste período todos os vasos foram irrigados diariamente com água de abastecimento urbano, mantendo-se o solo sempre na capacidade de campo. Após esse período, realizou-se um desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso, iniciando-se a partir daí a aplicação das diferentes lâminas de água residual com base nas frações de água disponível (AD) do solo (25, 50, 75 e 100 % de AD). As irrigações foram realizadas diariamente, repondo-se a massa de água perdida pelo processo de evapotranspiração, pesando-se os vasos.

Após o início da aplicação dos tratamentos (DAT) o experimento foi conduzido por 60 dias. Semanalmente, foram realizadas análises de crescimento do milho medindo-se com auxílio de uma trena o comprimento do colmo (da base da planta até o último nó) e contando-se o número de folhas vivas (sendo considerada folha viva a que estava totalmente expandida e apresentava mais de 50% da área foliar sem estar comprometida pela senescência). Para facilitar a interpretação das informações obtidas a partir dessas análises de crescimento, foram ajustados modelos não lineares, equações de segundo grau (equação 1) e sigmoideal (equação 2) para descrever o comportamento das variáveis ao longo do período experimental.

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i + b_2 X_i^2 \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{a}{1 + \exp(-(X_i - X_0)/b)} \quad (2)$$

sendo que Y_i variável dependente (comprimento do colmo e número de folhas vivas); X_i variável independente (dias após tratamentos); b_0 , b_1 e b_2 são coeficientes de ajuste da equação de segundo grau; a , X_0 e b são coeficientes de ajuste do modelo sigmoideal.

A cada 15 dias, após aplicação dos tratamentos, foram determinadas as trocas gasosas a nível foliar (assimilação líquida de CO₂, condutância estomática, concentração intercelular de CO₂ e transpiração). Para estas determinações utilizou-se um Analisador Portátil de Gás a Infravermelho (IRGA), modelo Licor 6400XT, operando com luz artificial de 1000 μmol de fótons m⁻² s⁻¹. As leituras foram efetuadas na segunda folha totalmente expandida, de cima para baixo, entre 8:00 e 11:00 horas, após a irrigação.

De posse dos parâmetros de trocas gasosas, determinou-se a eficiência instantânea de uso de água (assimilação líquida de CO₂/transpiração), a eficiência intrínseca de uso da água

(assimilação líquida de CO_2 /condutância estomática) e a eficiência de carboxilação (assimilação líquida de CO_2 /concentração intercelular de CO_2). A partir de um fluorômetro modular Licor 6400-40, acoplado ao IRGA, foi determinada a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR), simultaneamente as leituras das trocas gasosas. Através do aumento da relação (ETR/assimilação líquida de CO_2), pode-se ainda obter um indicativo de desvio de elétrons para outros aceptores, que não fosse a assimilação líquida de CO_2 .

Ao final do experimento, foram coletados e separados os seguintes componentes morfológicos do perfilho principal (perfilho com maior crescimento) e dos perfilhos basais das plantas: folhas vivas (FV), folhas mortas (FM), colmo (C) e panícula (Pa). Após esse procedimento o material foi seco em estufa a 65 °C até atingir peso constante (DETMANN et al., 2012). De posse do peso seco de cada tratamento, foi possível determinar a eficiência do uso da água pela relação massa seca produzida pelo volume de água aplicado (evapotranspiração).

Os resultados foram submetidos inicialmente ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e ao teste de homocedasticidade de Cochran. Atendidas essas premissas, realizou-se a análise de variância (teste F a 5%); teste de Tukey (5%) para comparação das médias; quando identificado significância, realizou-se a análise de regressão para o tratamento quantitativo (frações da água disponível no solo). O programa utilizado para o processamento das análises estatísticas e a confecção dos gráficos foi o software estatístico R (TEAM CORE R, 2017).

3 Resultados e discussão

3.1 Trocas gasosas do milho

Na avaliação das trocas gasosas aos 15, 30, 45 e 60 dias após aplicação dos tratamentos (DAT), não houve interação entre os tratamentos (lâminas de irrigação e adubação), sendo avaliado o efeito simples da adubação orgânica (com ou sem esterco) (Tabela 2). Os efeitos das diferentes lâminas de irrigação só foram encontrados aos 45 e 60 DAT, indicando tolerância do milho ao estresse hídrico nas fases iniciais de crescimento. A alta frequência de irrigação (diária) pode ter compensado o efeito do déficit hídrico sob as trocas gasosas, auxiliando na tolerância do milho nas fases iniciais de desenvolvimento, pois, em intervalos longos de irrigações as trocas gasosas são afetadas de forma mais intensa (SINGH; SINGH, 1995). Quando as plantas atingiram as fases que demandam mais água (após os 30 DAT), a frequência de irrigação e a tolerância intrínseca da cultura não foram suficientes para contornar o efeito da irrigação deficitária sobre as trocas gasosas.

Aos 15 DAT, a assimilação líquida de CO₂ das plantas adubadas foi 22 e 30 % maior que as plantas sem adubação e a testemunha, respectivamente (Tabela 2). A adubação com esterco aumenta a quantidade de nutrientes na solução do solo, dentre eles o nitrogênio, proporcionando maior assimilação de CO₂, por esse nutriente aumentar o teor de clorofila nas folhas e a atividade dos cloroplastos (LI et al., 2013). As demais trocas gasosas seguiram o mesmo padrão de superioridade, com exceção da concentração intercelular de CO₂ que foi superior nos tratamentos sem adubação e testemunha.

Aos 30 e 45 DAT as trocas gasosas entre as plantas irrigadas com água residuária não diferiram, independentemente de estarem ou não adubadas. Maiores valores de trocas gasosas são alcançados quando as gramíneas estão com o manejo nutricional equilibrado, contribuindo inclusive para atenuar o efeito do estresse hídrico (KUWAHARA et al., 2016). Por obterem trocas gasosas mais altas no início do crescimento, as plantas que receberam adubação, tendem a completar seu ciclo em um menor espaço de tempo, justificando a queda nas trocas gasosas que as mesmas obtiverem aos 60 DAT (Tabela 2).

Tabela 2. Trocas gasosas de milho aos 15, 30, 45 e 60 dias de irrigação com água residuária e adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino).

Trat.	A	gs	E	CI	ETR	A/E	A/gs	A/CI	ETR/A
15 DIAS									
CA	26,1 a	0,13 a	3,67 a	36,6 b	102,8 a	7,1 a	198,7 a	0,89 a	4,0 a
SA	20,3 b	0,10 b	3,03 b	47,0 b	84,8 b	6,7 b	195,0 a	0,62 a	4,2 a
TC	18,1 b	0,10 b	2,92 b	75,9 a	81,8 b	6,2 b	177,4 b	0,24 b	4,5 a
30 DIAS									
CA	25,9 a	0,13 a	4,64 a	34,7 b	104,7 a	5,6 a	199,6 a	1,20 a	4,0 b
SA	28,3 a	0,15 a	5,28 a	50,8 b	113,8 a	5,5 a	187,8 a	0,60 b	4,0 b
TC	21,5 b	0,13 a	4,18 a	82,2 a	100,0 a	5,1 a	171,4 b	0,30 b	4,7 a
45 DIAS									
CA	24,3 a	0,13 a	4,1 a	53,2 b	112,7 a	5,9 a	190,3 a	0,50 a	4,1 b
SA	28,2 a	0,15 a	4,7 a	53,0 b	97,0 a	6,0 a	188,4 a	1,00 a	4,0 b
TC	18,9 b	0,11 a	3,9 a	83,6 a	92,0 b	5,4 b	173,6 b	0,23 b	4,8 a
60 DIAS									
CA	15,2 b	0,08 b	2,2 b	66,9 b	73,8 b	6,6 a	185,3 a	0,50 b	5,0 a
SA	22,2 a	0,11 a	3,2 a	54,2 b	96,8 a	6,8 a	189,9 a	0,70 a	4,4 b
TC	16,4 b	0,09 b	2,6 b	80,5 a	83,4 b	6,2 b	175,9 b	0,50 b	5,1 a

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre os tratamentos (Trat.) com adubação (CA), sem adubação (SA) e controle (TC) pelo teste de tukey a 5%. A – assimilação líquida de CO₂ (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), gs – condutância estomática (mol H₂O m⁻² s⁻¹), E – transpiração (mmol H₂O m⁻² s⁻¹), CI – concentração intercelular de CO₂ (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), ETR – indicativo da taxa de transporte de elétrons (μmol elétrons m⁻² s⁻¹), A/E-eficiência instantânea no uso da água (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹/ mmol H₂O m⁻² s⁻¹), A/gs – eficiência intrínseca no uso da água (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹/mol H₂O m⁻² s⁻¹), A/CI – eficiência de carboxilação (μmol CO₂ m⁻² s⁻¹/μmol CO₂ m⁻² s⁻¹), ETR/A – indicativo de desvio de elétrons (μmol elétrons m⁻² s⁻¹/μmol CO₂ m⁻² s⁻¹).

O tratamento controle, para todos os tempos de avaliação, apresentou a menor eficiência de carboxilação (A/CI), devido aos maiores valores de concentração intercelular de CO_2 (CI) também terem sido encontrados nesse tratamento (Tabela 2). Esses valores elevados de CO_2 no mesofilo foliar indicam que o substrato para a fotossíntese estava disponível, contudo, por algum motivo o mesmo não conseguiu entrar na rota fotossintética. Assim, como não há limitações para entrada de CO_2 na folha, os prejuízos à assimilação líquida de CO_2 para o tratamento controle estão associados a limitações na fase fotoquímica (diminuição no suprimento de NADPH e ATP) e/ou bioquímicos (reações de regeneração e de carboxilação da Rubisco) (TEZARA et al., 1999). A redução na A/CI aumenta a suscetibilidade a danos fotoquímicos, uma vez que, há excesso de energia luminosa no nível do fotossistema II, devido às baixas taxas de assimilação de CO_2 (SILVA et al., 2010). Isto é confirmado pelo aumento da relação ETR/A , que funciona como um indicativo de desvio de elétrons para outros aceptores que não são a assimilação líquida de CO_2 , ou seja, toda vez que essa relação aumenta há um saldo de elétrons não aproveitados para as reações de carboxilação. Estes elétrons livres podem se unir ao oxigênio, formando espécies reativas de oxigênio, causando danos oxidativos às células vegetais o que compromete o metabolismo das plantas (MITTLER, 2002).

Por ter uma baixa assimilação líquida de CO_2 , mas não reduzir na mesma magnitude sua condutância estomática, o controle apresentou a menor eficiência intrínseca de uso da água em todos os tempos de avaliação (Tabela 2). Essa mesma tendência é observada na eficiência instantânea no uso da água. Ou seja, as plantas do controle tendem a perder mais água para fixar 1 g de CO_2 , do que as plantas que foram irrigadas com água residuária. As plantas irrigadas com água residuária (com ou sem adubação), mantêm a assimilação líquida de CO_2 sem aumentar a sua transpiração, isso contribui para uma maior eficiência no uso da água. Provavelmente os nutrientes dissolvidos na água residuária (Tabela 1) auxiliaram para manutenção da assimilação líquida de CO_2 , promovendo uma melhor eficiência no uso da água.

Aos 45 e 60 DAT, a medida que aumenta-se a lâmina de irrigação, ocorre um incremento linear na assimilação líquida de CO_2 (A), na transpiração (E) e na condutância estomática (gs) (Figura 2A, B e C). Sendo que a assimilação líquida de CO_2 das plantas irrigadas com 25 e 100% de AD, nota-se que a mesma sofreu reduções na ordem de 30 e 38%, respectivamente aos 45 e 60 DAT. Sob baixa disponibilidade de água, as plantas controlam

sua abertura estomática (redução da g_s) para diminuir a perda de água, resultando em uma redução da transpiração e da assimilação líquida de CO_2 , a partir disso uma cascata de efeitos no metabolismo da planta é iniciada (CHAVES et al., 2016). Essas alterações metabólicas dependem da intensidade do estresse e do número de eventos estressantes (BARROS et al., 2018).

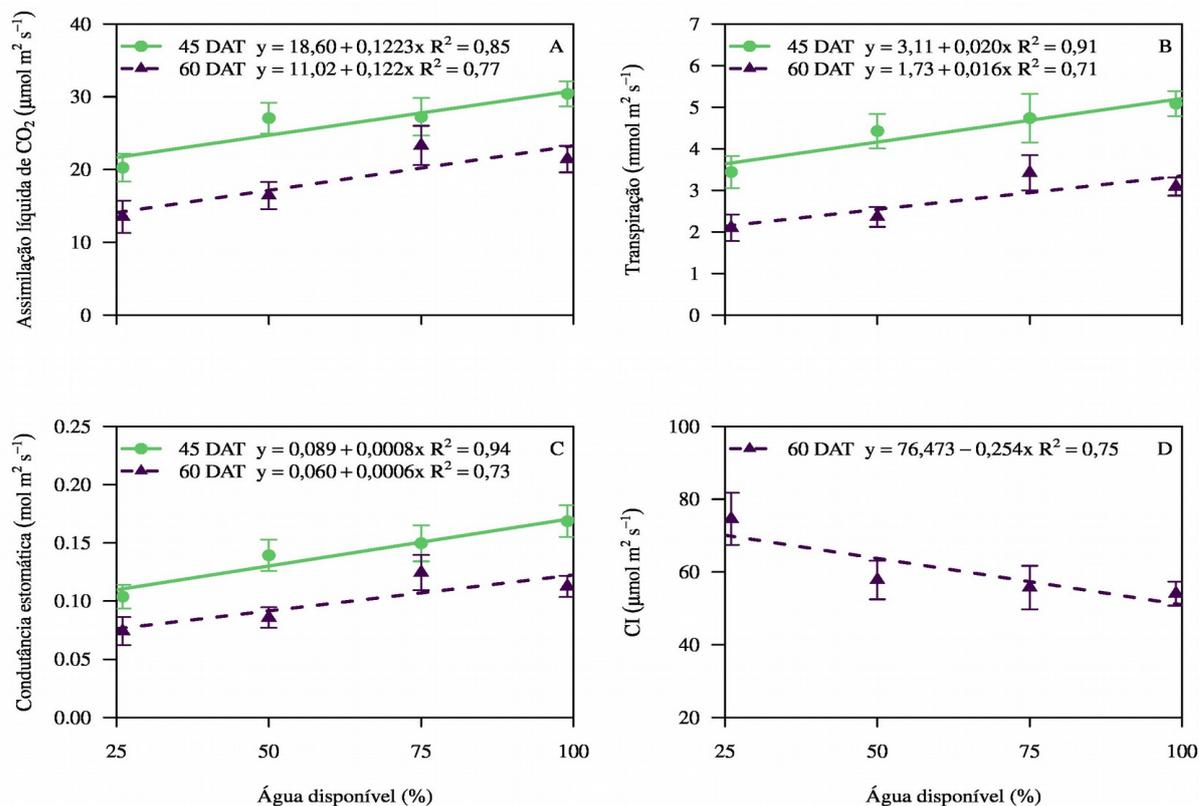


Figura 2. Análise de regressão das trocas gasosas de milho irrigado com diferentes regimes hídricos de água residuária aos 45 e 60 dias após aplicação dos tratamentos. Os pontos indicam os valores médios medidos com o respectivo desvio padrão, as linhas indicam os valores estimados pela regressão e o CI é a concentração intercelular de CO_2 .

No entanto, não se pode considerar que a redução da assimilação líquida de CO_2 está unicamente associado ao fechamento estomático, visto que aos 45 DAT, independente da lâmina de irrigação, a concentração intercelular de CO_2 (CI) no mesófilo foliar não diferiu (dados não apresentados), em função da lâmina de irrigação; e aos 60 DAT, a medida que se diminuiu a disponibilidade de água no solo, a CI aumentou (Figura 2D). O aumento da CI sob deficiência hídrica, sugere que a predominância das limitações não estomática a fotossíntese (LIU et al., 2012). Assim, a redução nos valores de assimilação líquida de CO_2 com o aumento da deficiência hídrica (Figura 2A) são também decorrente das disfunções nos níveis das reações bioquímicas associadas à fixação de CO_2 , possivelmente devido às limitações na síntese de Rubisco causada por deficiência de ATP (MASHILO et al., 2017). Com o

agravamento do estresse hídrico, as reações bioquímicas também são afetadas (MACHADO et al., 2009).

A redução mais drástica na assimilação líquida de CO₂ em função da deficiência hídrica aos 60 DAT (Figura 2A) pode está relacionada a redução na cadeia de transporte de elétrons (ETR) (Figura 3A). A capacidade de transporte de elétrons é um dos principais mecanismos que mais limita a assimilação de CO₂ (CAEMMERER; FURBANK, 2016). A regeneração da Rubisco é limitada pela incapacidade de transporte de elétrons para fornecer redutores e ATP (BARKER, NOGUÉS, ALLEN, 1997), conseqüentemente à assimilação líquida de CO₂ é afetada. Aos 45 e 60 DAT ocorreu aumento da relação ETR/A (Figura 3B), indicando uma sobra de elétrons no processo fotossintético; quando esses elétrons livres se unem ao O₂ formam espécies reativas de oxigênio (EROs) que promovem danos oxidativos nas células vegetais (MASHILO et al., 2017). A produção de EROs nos tilacóides, pode causar a desativação de enzimas relacionadas à fotossíntese e a inibição da atividade funcional do fotossistema II (ZHANG et al., 2013).

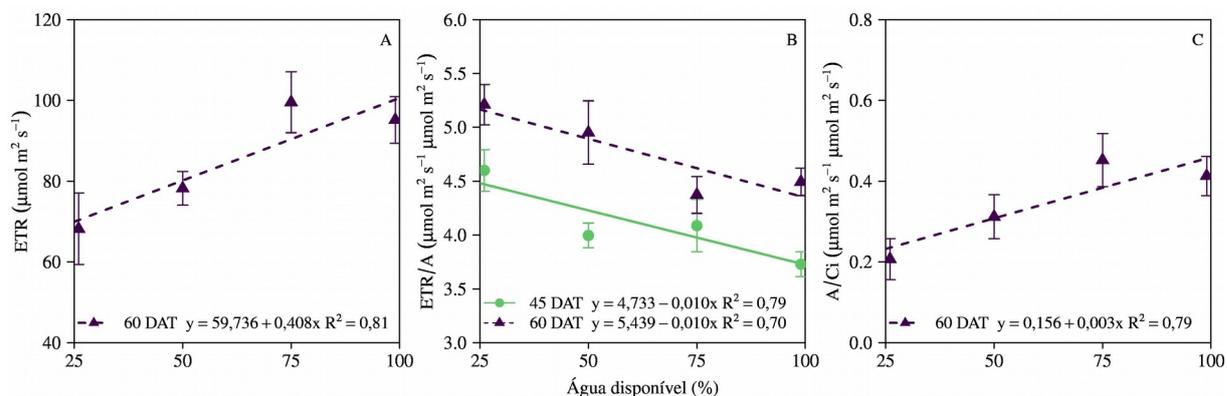


Figura 3. Análise de regressão da cadeia de transporte de elétrons (ETR), indicativo de desvios de elétrons (ETR/A) e eficiência de carboxilação (A/Ci) de milho irrigado com diferentes níveis de água residual.

A eficiência de carboxilação (A/Ci) só foi afetada aos 60 DAT em função da disponibilidade de água no solo (AD), ocorrendo incremento da mesma a medida que se aumentava as lâminas de irrigação (Figura 3C). O incremento de CO₂ no mesófilo da folha a medida que a AD é reduzida, fez a eficiência na assimilação de CO₂ diminuir. A eficiência intrínseca e instantânea no uso da água das plantas submetidas às diferentes lâminas de irrigação foram semelhantes, visto que as reduções de assimilação líquida, condutância estomática e transpiração em função das lâminas de irrigação, foram proporcionais. A eficiência do uso da água é um importante mecanismo de adaptação fisiológica, que pode

melhorar a produtividade das culturas em condições de limitação hídrica (MEDRANO et al., 2015), pois as plantas regulam seu metabolismo para continuarem assimilando CO₂, com restrições a transpiração.

3.2 Crescimento do milho

O modelo sigmoidal foi o que melhor descreveu a dinâmica do crescimento do colmo, para todos os tratamentos, apresentando $R^2 > 0,70$ e parâmetros significativos a 5% de probabilidade (Tabela 3). O parâmetro 'a' do modelo está relacionado ao máximo comprimento do colmo (CC), assim, nota-se que os tratamentos que receberam adubação apresentaram um maior CC em relação aos sem adubação (Tabela 3). Sendo que os tratamentos que foram irrigados com 25% da AD (com e sem adubação) apresentaram altura máxima similar (diferença de 0,55%) e menor em relação aos demais tratamentos, demonstrando que a irrigação com 25% de AD foi a que mais afetou o crescimento do colmo. Já o parâmetro X0 do modelo sigmoidal indica com quantos DAT as plantas de milho apresentaram 50% da máxima altura, sendo que quanto menor esse valor mais rápido as plantas de milho atingem as fases reprodutivas.

Tabela 3. Coeficientes dos modelos sigmoidal e de segundo grau ajustados a partir dos dados medidos nas plantas de milho sob diferentes regimes hídricos de água residuária com e sem adubação.

Tratamentos	Comprimento do colmo				Número de folhas vivas				
	a	X0	b	R ²	b0	b1	b2	R ²	X _{max}
T1	89,01	23,93	6,28	0,91	1,36	0,58	-0,006	0,81	48,33
T2	83,50	19,95	4,25	0,89	3,04	0,45	-0,005	0,82	45,00
T3	86,44	22,18	4,58	0,81	2,35	0,59	-0,007	0,79	42,14
T4	76,87	21,07	4,88	0,85	3,04	0,58	-0,009	0,50	32,22
T5	114,0	19,07	4,36	0,90	2,67	0,81	-0,009	0,81	45,00
T6	95,19	15,43	4,56	0,89	1,93	1,07	-0,013	0,78	41,15
T7	93,16	17,51	4,92	0,90	2,18	0,97	-0,013	0,75	37,30
T8	76,44	18,43	5,70	0,86	1,08	0,96	-0,014	0,60	34,28
T9	82,26	23,60	7,50	0,70	1,47	0,70	-0,009	0,74	38,88

a, X0 e b - coeficientes do modelo sigmoidal; b0, b1 e b2 – coeficientes do modelo de segundo grau, X_{max} – dia que ocorre o maior número de folhas vivas; T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.

O número de folhas vivas (NFV) se ajustou melhor a regressão quadrática. Após derivar a equação foi possível encontrar o X_{max} (dia que ocorre o maior NFV), que variou de

32 à 48 DAT quando as plantas não foram adubadas e de 34 a 45 DAT quando as plantas receberam adubação (Tabela 3). Nota-se, que independente da adubação o X_{max} apresenta redução em função do menor suprimento de água. Assim, plantas de milho sob deficiência hídrica tendem a apresentar uma menor proporção de folhas vivas mais rapidamente ao longo do ciclo, merecendo atenção especial para que a qualidade da biomassa não seja prejudicada por uma colheita tardia.

A dinâmica do crescimento do colmo e do número de folhas vivas do milho, ao longo do período experimental, pode ser observada na Figura 4. O comprimento do colmo que possui um crescimento sigmoidal, começando com uma taxa lenta de crescimento, transita para um aumento logarítmico na taxa de crescimento e termina com uma estabilização do crescimento (Figura 4A e B). Sendo que o início da fase logarítmica de crescimento vai ao encontro dos maiores valores das trocas gasosas para os tratamentos que receberam adubação (Tabela 2), 15 DAT, justificando o maior crescimento início das plantas de milho quando receberam adubação. O comprimento do colmo demonstrou uma estabilização no crescimento entre 30 e 40 dias após iniciada aplicação dos tratamentos (DAT). As plantas adubadas, com exceção daquelas irrigadas a 25% da água disponível (AD), apresentaram maior comprimento de colmo ao longo do tempo de avaliação. As plantas adubadas apresentaram um maior crescimento, pois a adubação fornece nutrientes que aceleram o processo de diferenciação tecidual e conseqüentemente a expansão tecidual (LI et al., 2013).

Os efeitos da redução da lâmina de irrigação sobre a dinâmica de crescimento do colmo, são mais evidentes nas plantas que receberam adubação (Figura 4B). Onde diferenças mais acentuadas no comprimento do colmo são mais evidentes a partir dos 30 DAT. A menor altura de planta nos tratamentos com menor lâmina de irrigação está atrelada ao déficit hídrico ao qual as plantas foram submetidas, por promover menor diferenciação celular e menor número de células, comprometendo a expansão dos tecidos vegetais das plantas (TARDIEU; GRANIER; MULLER, 2011). Por outro lado, quando as plantas não foram adubadas o padrão de crescimento entre elas era o mesmo, independente da água disponível do solo (Figura 4A). Como esses tratamentos apresentaram menor número de folhas vivas (NFV) ao longo do ciclo (Figura 4C e D), conseqüentemente possui menor área foliar, tendendo a perder menos água para a atmosfera, o que aumenta a tolerância da planta ao déficit hídrico do solo.

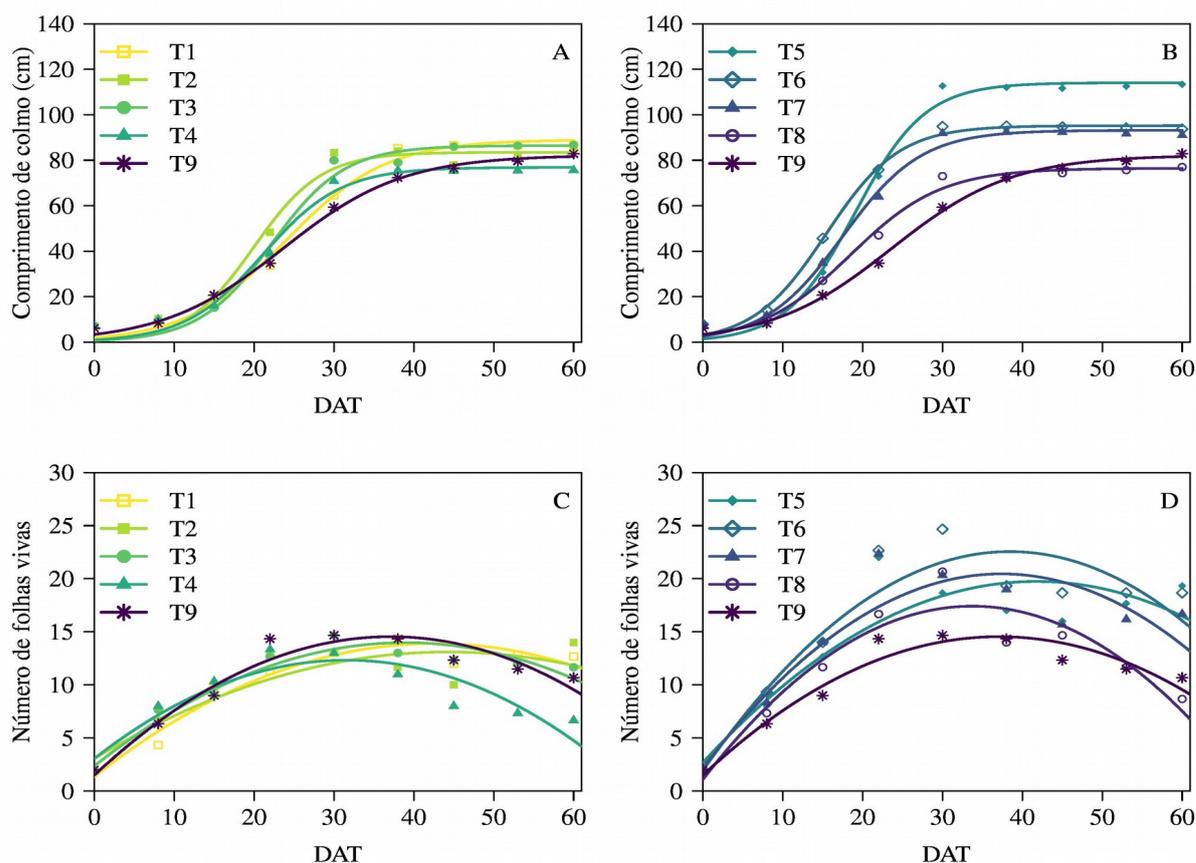


Figura 4. Dinâmica do crescimento do colmo sem adubação (A) e com adubação (B); e do número de folhas vivas sem adubação (C) e com adubação (D) de milho irrigado com diferentes regimes hídricos de água residuária e adubado com esterco. DAT – dias após aplicação dos tratamentos, T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.

O número de folhas vivas (NFV) apresentou a mesma dinâmica para todos os tratamentos (Figura 4C e D). Sendo que todas as plantas adubadas com esterco apresentaram maior NFV. A partir dos 40 DAT, o NFV das plantas irrigadas com 25% de AD reduziram abruptamente, em consequência do estresse hídrico. Sob déficit hídrico prolongado a abscisão foliar é estimulada (TAIZ; ZEIGER, 2013), além de reduzir o NFV, as plantas de milho sob estresse hídrico tendem a reduzir sua área foliar (ESMAEILZADE-MORIDANI et al., 2015), prejudicando a assimilação líquida de CO_2 total, comprometendo com isso o acúmulo de biomassa das plantas. A redução do NFV e da área foliar implica em uma menor relação folha colmo, o que diminui a qualidade nutricional do milho como forrageira e prejudica a fermentação durante o processo de ensilagem (BRUNETTE; BAURHOO; MUSTAFA, 2016).

Os resultados de crescimento das plantas (Figura 4) ainda sugerem que a irrigação com água cinza não causa implicações negativas no milho, pois a curva de crescimento das

plantas irrigadas com 100% de AD com água cinza permaneceu próxima àquela da testemunha, irrigada com água do abastecimento e sem adubação (Figura 4A). Esse mesmo comportamento é observado na dinâmica de NFV (Figura 4C). Contudo, a água cinza não promoveu aporte de nutrientes suficientes para melhorar o desempenho do crescimento do milho, necessitando da adubação com esterco para que um maior crescimento seja obtido. O milho, apesar de ser adaptado a solos de baixa fertilidade, responde a adubações e apresenta elevada eficiência de translocação de nutrientes (MELO; FERNANDES; GALVÃO, 2015), sendo que essas respostas apresentam dependência do genótipo, tipo de solo e manejo adotado (SANTOS JÚNIOR et al., 2015; SILVA et al., 2014).

3.3 Produção de fitomassa do milho

A produção de fitomassa (em matéria seca) das plantas de milho, independentemente do nível de água disponível do solo, foram superiores para todos os tratamentos que receberam adubação (Tabela 4). Esse resultado sugere que a água cinza tem uma quantidade de nutrientes que não impulsiona o incremento da produção do milho. A quantidade de nutrientes da água residuária (cinza) utilizada no experimento está relacionado com a origem da mesma, não contemplando dejetos das latrinas residenciais, e que normalmente contribuem com grande parte dos nutrientes das águas residuárias (LARSEN et al., 2001; SANTOS JÚNIOR et al., 2015). A urina humana pode representar mais de 80% do nitrogênio encontrado no efluente doméstico, 50% da carga de fósforo, 90% da carga de potássio e ao mesmo tempo constitui com menos de 1% do volume total do efluente doméstico convencional (LARSEN et al., 2001).

A adição de 4,5% de urina humana no efluente doméstico aplicado via irrigação em plantas de milho, proporcionou resultados de massa seca e eficiência do uso da água semelhante aos observados em plantas sob fertilização mineral e irrigadas com água de abastecimento (SANTOS JÚNIOR et al., 2015). Contudo, quando dejetos humanos estão presentes em águas residuárias, torna-se necessárias técnicas de tratamento mais avançadas para evitar o risco de contaminação ambiental e humana (TEODORO et al., 2017). Isso acarreta um maior custo para os pequenos agricultores, o que pode inviabilizar economicamente a reutilização de água residuária. O custo adicional da adubação com esterco é justificado pelo incremento da produção, visto que, independentemente da lâmina de irrigação, quando adubada com esterco a produção do milho aumenta em mais de 100% (Tabela 4).

Tabela 4. Produção de fitomassa do milho irrigado com água residuária, sem e com adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino).

Adubação	Água disponível - AD (%)				Controle
	25	50	75	100	
	----- g de MS planta ⁻¹ -----				
sem	12,52 aB	15,67 aB	17,49 aB	15,31 aB	15,39 a
com	31,22 bA	51,85 aA	47,65aA	50,80 aA	15,39 c

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Como a água residuária não promoveu um incremento no NFV (Figura 4C) a assimilação líquida de CO₂ das plantas como um todo, tendeu a ser superior nas plantas adubadas, devido ao maior número de folhas vivas (Figura 4D) com consequente maior área foliar. Resultando em um maior acúmulo de massa nas plantas que receberam adubação (Tabela 4). Assim, só a manutenção das trocas gasosas (Tabela 2) não garante que maiores ganhos de massa sejam alcançados, pois haverá também a dependência da área foliar da planta.

As plantas de milho irrigadas com água residuária e sem adubação, não tiveram a produção influenciada pelas lâminas de irrigação (Tabela 4). Esses mesmos tratamentos não diferiram do controle que apresentou uma produção de 15,39 g de MS planta⁻¹. Há uma associação entre a fitomassa de matéria seca do milho e suas características morfológicas (comprimento de colmo e número de folhas vivas), como essas características não foram afetadas pela redução das lâminas de irrigação quando as plantas não receberam adubação (Figura 4A e C), consequentemente a fitomassa no milho não foi afetada de forma significativa.

Por outro lado, as plantas adubadas e irrigadas com 25% de AD diferiram dos demais tratamentos com adubação, que na ordem de 50, 75 e 100% AD, aumentaram a produção de fitomassa em 66, 53 e 63% em relação ao com 25% de AD (Tabela 4). A adubação com esterco acelera o crescimento do milho nas fases iniciais, contudo, quando as plantas são expostas ao déficit hídrico tendem a sofrer mais os efeitos desse estresse por terem a parte aérea mais desenvolvida, demandando mais água (AFFHOLDER, 1995). Apesar da assimilação líquida de CO₂ aos 45 e 60 DAT, aumentarem linearmente com o incremento da AD no solo (Figura 2A) a fitomassa do milho, aos 50, 75 e 100% de AD, não diferiram de forma significativa. Possivelmente devido a assimilação líquida de CO₂ não diferir entre essas lâminas, pois as barras de desvio padrão da média se tocam (Figura 2A). Além disso, entre esses tratamentos a dinâmica do número de folhas vivas é similar (Figura 4D), contribuindo

para uma assimilação líquida de CO₂ total próxima entre os tratamentos citados anteriormente.

A tolerância do milho ao déficit hídrico ainda pode estar relacionada a outros fatores do metabolismo da planta. Como o acúmulo de proteínas solúveis, sendo que das 2281 proteínas identificadas, apenas 6,79% se mostraram sensíveis ao déficit hídrico (GHATAK et al., 2015). Outro fator que também pode ter contribuído para aumentar a tolerância ao déficit hídrico foi a frequência de irrigação, que foi diária no presente estudo. A frequência da irrigação influencia diretamente na produtividade das plantas, sendo que quanto menor o intervalo de tempo entre os eventos de reposição da água, menor o efeito do déficit hídrico (AISHAH et al., 2011; Al-SOLAIMANI et al., 2017).

Apesar de o controle apresentar uma menor assimilação de CO₂ aos 30, 45 e 60 DAT, na ordem de 25-30%, quando comparado aos tratamentos que não foram adubados com esterco (Tabela 2), mesmo assim a produção de fitomassa do controle foi similar aos tratamentos sem adubação. Esses resultados demonstram que o incremento na assimilação de CO₂, isoladamente, não é suficiente para explicar o acúmulo de biomassa da planta, que também depende da ação de outros componentes do metabolismo da mesma. A assimilação máxima de CO₂ (A_{max}) obtida a partir das construções de curvas de luz tem uma maior correlação com a produção das plantas do que com a assimilação líquida de CO₂ medida de forma pontual e instantânea, pois a A_{max} fornece informações mais precisas sobre a eficiência no metabolismo fotossintético da planta (ZHANG et al., 2017). O aumento proporcional da taxa de respiração noturna e a assimilação líquida de CO₂ também contribui para um não incremento do acúmulo de biomassa da planta (MEDRANO et al., 2015), uma vez que ocorre uma compensação entre o carbono assimilado e o perdido por respiração.

A massa seca de perfilhos basais foi mais beneficiada pela adubação orgânica do que o perfilho principal (Figura 5A). Nos tratamentos adubados, a massa seca de perfilhos basais colaborou com mais de 50% da massa seca total da planta, enquanto que nos não adubados a massa de perfilhos basais contribui com 15% da massa total. A proporção de colmo não obteve grandes diferenças em função dos tratamentos, contudo, a proporção de folhas vivas foi menor nos tratamentos adubados (Figura 5B). Quando não ocorre limitações térmicas, a dinâmica do crescimento do milho é impactada por restrições hídricas e/ou nutricionais (JAYME-OLIVEIRA et al., 2017). Assim, os tratamentos que receberam mais água e foram

adubados apresentaram crescimento mais acelerado (Figura 4), conseqüentemente, uma maior massa de folhas mortas quando colhidas em estádio avançados de crescimento.

Os tratamentos adubados foram os únicos que na massa seca de perfilhos basais apresentaram panículas, contribuindo para que esses tratamentos tivessem uma maior proporção de panícula na massa seca das plantas (Figura 5B), contribuindo assim para uma melhor qualidade da forragem, pois as panículas possuem alto teor de amido nos grãos. O incremento nas proporções de folhas vivas e de panícula é importante para a produção de silagem, pois tende a acelerar o processo de fermentação láctea e a aumentar a qualidade da silagem de milho (BRUNETTE; BAURHOO; MUSTAFA, 2016).

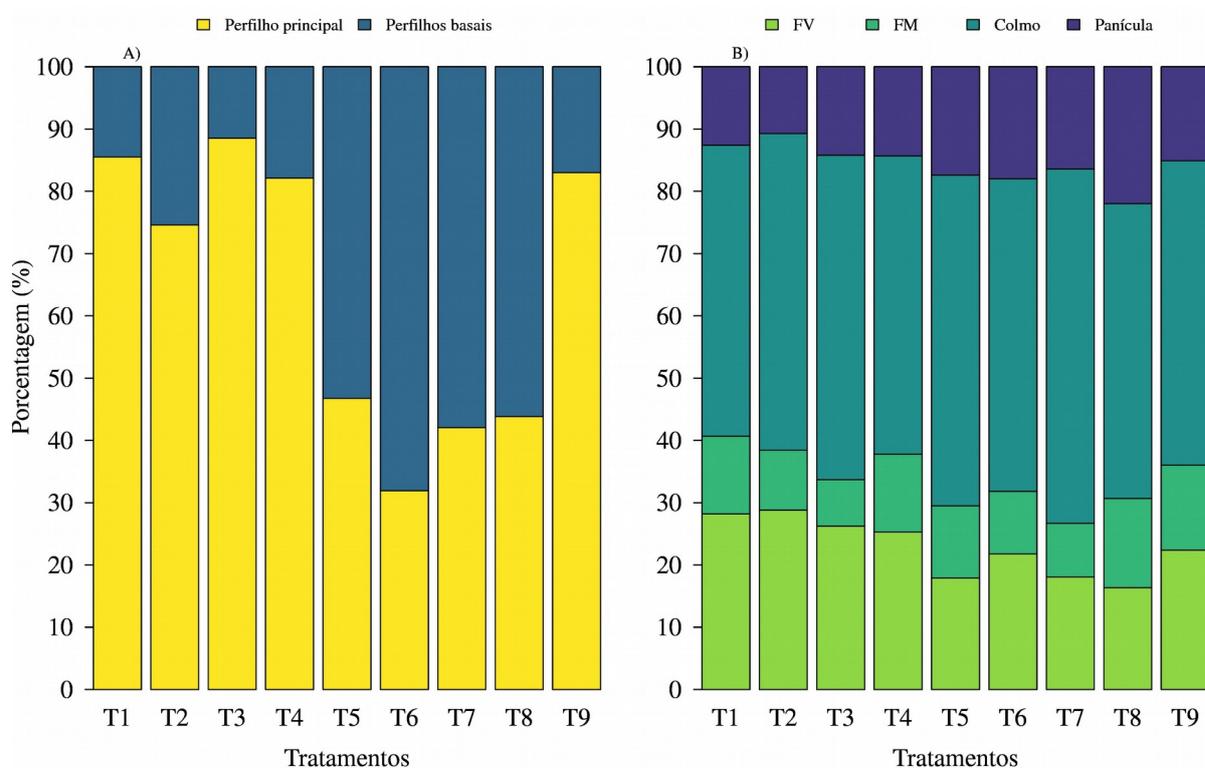


Figura 5. Partição da massa seca do milho em perfilho principal e perfilhos basais (A) e partição da planta em folhas vivas (FV), folhas mortas (FM), colmo e panícula das plantas de milho (B) irrigado com água residuária e adubado com 0 e 34 Mg ha⁻¹ esterco bovino. T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.

3.4 Evapotranspiração e Eficiência no Uso da Água (EUA)

Os valores da evapotranspiração acumulada (ET) dos tratamentos adubados e irrigados com 50, 75 e 100% da AD, superaram o tratamento adubado e irrigado com 25% AD e todos os tratamentos sem adubação (Figura 6A). A adubação aumentou a quantidade de folhas vivas nas plantas (Figura 4C e D) e quanto mais folhas, maior a quantidade de estômatos e de

superfície de transpiração (ROSTAMZA et al., 2011), conseqüentemente, o valor acumulado de ET será maior.

Apesar das plantas até 30 DAT não exibirem diferença nos valores de transpiração entre as lâminas de irrigação, nota-se que às não adubadas e submetidas as menores lâminas (25 e 50% AD) apresentaram valores inferiores de ET, já aos 15 DAT (Figura 6A). Os fatores que controlam a evaporação, seja no solo ou nos estômatos, são interdependentes, mas é preciso considerar que: i) a medição da transpiração é pontual e o IRGA só mede o vapor d'água liberado dos estômatos localizados na superfície interna ($2,0 \text{ cm}^2$) da câmara de folhas, sem considerar a área foliar total das plantas; ii) as medidas de transpiração foram realizadas sempre nos mesmos intervalos de horários (9:00 até 11:00 horas) e nem sempre o valor medido é obtido no momento de maior deficit de pressão de vapor na atmosfera, quando a transpiração é maior (WEN et al., 2012); iii) a taxa de evaporação do solo é proporcional à diferença em pressão de vapor entre a água e a atmosfera e portanto, a redução da pressão de vapor nas águas cinzas (por possui sais e sabão dissolvidos) contribui para a redução da evaporação.

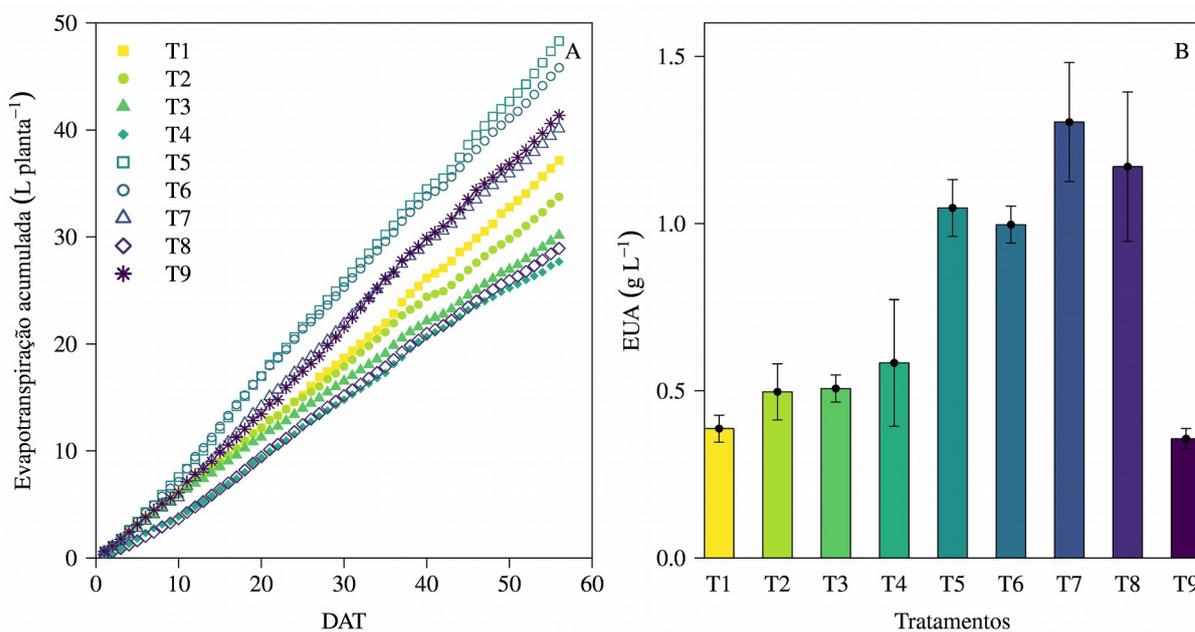


Figura 6. Dinâmica da evapotranspiração acumulada (A) e de eficiência no uso da água (B) de milho irrigado com diferentes níveis de água residuária e adubado com 0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino. T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.

À água residuária provocou restrições na evapotranspiração, uma vez que, a ET no controle foi 15% superior ao tratamento sem adubação e irrigado com 100% da água

residuária. Como aos 15, 30 e 45 DAT os valores de transpiração e número de folhas vivas foram praticamente os mesmos para ambos os tratamentos (Controle x 100% AD sem esterco), a redução da ET está relacionada ao maior número de partículas sólidas em suspensão nas águas cinzas, aumentando assim as interações soluto-água e, conseqüentemente, diminuindo a tendência de escape das moléculas de água para o estado gasoso, reduzindo a evaporação de água no solo. Outro fator importante a ser considerado é a maior salinidade da água residuária (Tabela 1), pois com o aporte acumulativo de sais ao solo ocorre aumento do potencial osmótico de água no solo, o que pode afetar o processo de evaporação da água (DUARTE; SOUZA, 2016).

Assim como a eficiência instantânea e intrínseca do uso da água obtidos com o IRGA, a eficiência no uso da água para a produção de matéria seca (EUApms) não apresentou diferença em função das lâminas de irrigação (Figura 6B). Apesar dos tratamentos com esterco possuírem uma maior evapotranspiração (Figura 6A), esses mesmos tratamentos apresentaram maior EUApms, sendo que para cada litro de água aplicado aos tratamentos que receberam esterco foi produzido de 1,0 a 1,22 g de matéria seca por planta. Nos tratamentos que não receberam esterco, a produção foi de 0,36 a 0,42 g de matéria seca produzida por litro de água aplicado. Embora a eficiência no uso da água permaneça praticamente inalterável sob baixa disponibilidade hídrica, a qualidade de foragem tende a diminuir, devido ao aumento da massa de material morto e depleção das características bromatológicas das plantas (ROSTAMZA et al., 2011).

Considerando 25% da AD como nível de referência para menor ET e produção de matéria seca (PMS), observa-se na Figura 7 os incrementos em porcentagem de ET e PMS em função do aumento da AD no solo. Quando as plantas não são submetidas a adubação com esterco o incremento na PMS é maior em comparação a ET, para os níveis de 50 e 75% de AD (Figura 7A). Contudo, o incremento da ET e da PMS é superior quando as plantas foram adubadas (Figura 7B), com destaque para o tratamento com 50% da AD, onde o incremento na PMS chega a ser 22% superior ao da ET. Já para os níveis de 50 e 75% de água disponível o incremento da PMS é proporcional ao da ET. O manejo equilibrado de nutrientes proporciona maior evapotranspiração e produção do milho, mesmo quando este está submetido ao déficit hídrico (UPPAL et al., 2015).

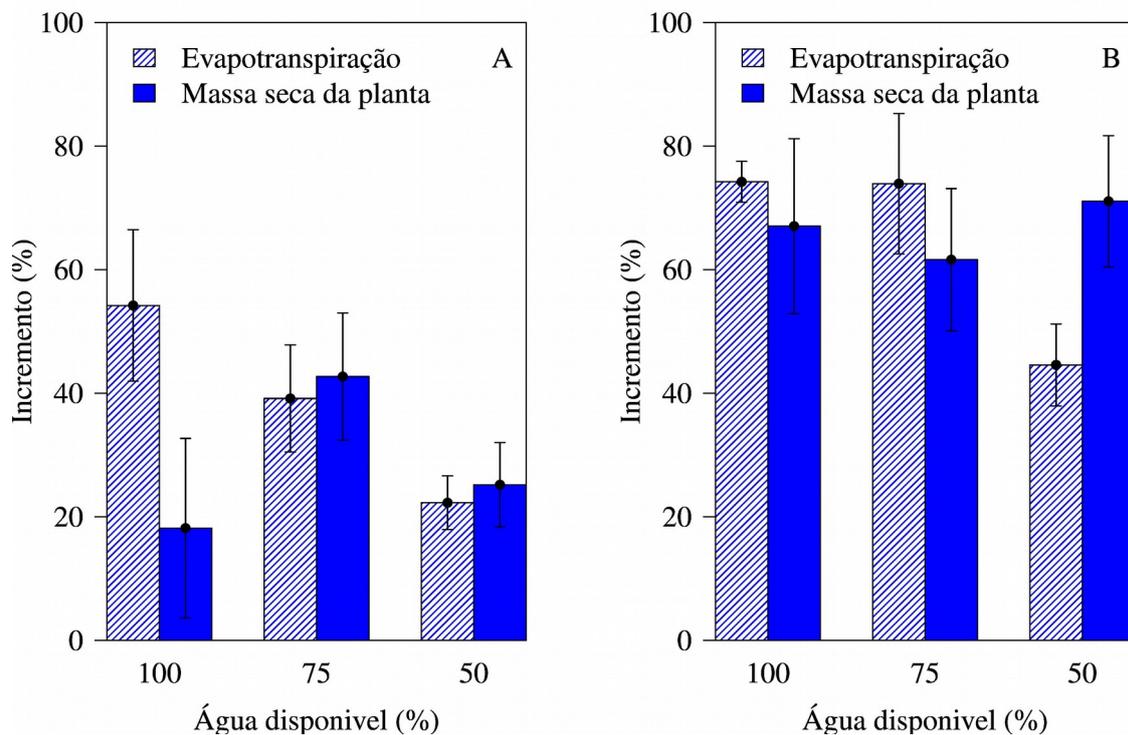


Figura 7. Incremento na evapotranspiração e na matéria seca em relação a 25% da água disponível sem adubação (A) e com adubação (B).

4 Conclusões

A água residuária (água cinza) não influencia de forma negativa o crescimento e a produção de fitomassa do milho.

Para uma condição de solo areno (e baixa CTC) o custo adicional da adubação com esterco é justificado pelo incremento da produção, visto que, independentemente da lâmina de irrigação, quando adubada com esterco a produção do milho aumenta.

A massa de perfilhos é a componente do milho mais favorecida pela adubação orgânica.

A adubação orgânica, foi mais eficaz para se aumentar a eficiência no uso da água do milho, que as reduções na lâmina de irrigação.

A melhor combinação de tratamentos foi a aplicação de 50% de AD em solo adubado com esterco, uma vez que, obteve-se a menor evapotranspiração sem prejuízos acúmulo de fitomassa.

5 Referências

AFFHOLDER, F. Effect of organic matter input on the water balance and yield of millet under tropical dryland condition. **Field Crops Research**, v. 41, n. 2, p. 109–121, 1995.

- AISHAH, Siti et al. Yield responses of forage sorghums to salinity and irrigation frequency. **African Journal of Biotechnology**, v. 10, n. 20, p. 4114-4120, 2011.
- AL-SOLAIMANI, SAMIR G. et al. Water deficit irrigation and nitrogen response of Sudan grass under arid land drip irrigation conditions. **Irrigation and Drainage**, v. 66, n. 3, p. 365-376, 2017.
- ALBUQUERQUE, S. et al. Condições hídricas e crescimento vegetal de culturas agrícolas importantes para comunidades indígenas do semiárido brasileiro. **Revista Ceres**, v. 65, n. 2, p. 111–119, 2018.
- BARROS, V. et al. Plant Physiology and Biochemistry Arbuscular mycorrhizal fungi improve photosynthetic energy use efficiency and decrease foliar construction cost under recurrent water deficit in woody evergreen species. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 127, p. 469–477, 2018.
- BAKER, N. R.; NOGUÉS, S.; ALLEN, D. J. Photosynthesis and photoinhibition. In: **Seminar series-society for experimental biology**. Cambridge University Press, 1997. p. 95-112.
- BRANDÃO, M.; CARLOS, B.; LIMA, E. P. **Reúso de água na agricultura**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2014.
- BRUNETTE, T.; BAURHOO, B.; MUSTAFA, A. F. Effects of replacing grass silage with forage pearl millet silage on milk yield, nutrient digestion, and ruminal fermentation of lactating dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 99, n. 1, p. 1–11, 2016.
- CAEMMERER, S. VON; FURBANK, R. T. Strategies for improving C4 photosynthesis. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 31, p. 125–134, 2016.
- CHAVES, M. M. et al. Plant Science Controlling stomatal aperture in semi-arid regions — The dilemma of saving water or being cool?. **Plant Science**, v. 251, p. 54–64, 2016.
- CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 59–66, 2008.
- DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 214 p.
- DUARTE, H. F. H.; SOUZA, E. R. DE. Soil Water Potentials and Capsicum annum L. under Salinity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–11, 2016.
- ESMAEILZADE-MORIDANI, M. et al. Leaf Expansion and Transpiration Responses of Millet Species to Soil Water Deficit. **Pedosphere**, v. 25, n. 6, p. 834–843, 2015.
- GHATAK, A. et al. Comprehensive tissue-specific proteome analysis of drought stress responses in Pennisetum glaucum (L.) R. Br. (Pearl millet). **Journal of Proteomics**, v. 143, p. 122–135, 2015.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate change 2014: Mitigation of climate change**. Cambridge University Press, 2015.
- ISMAIL, Saleh M.; ELNAKHLAWY, Fathy S.; BASAHI, Jalal M. Sudan grass and pearl millets productivity under different irrigation methods with fully irrigation and stresses in arid regions. **Grassland Science**, v. 64, n. 1, p. 29-39, 2018.

- KUWAHARA, F. A. et al. Phosphorus as a mitigator of the effects of water stress on the growth and photosynthetic capacity of tropical C4 grasses. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 3, p. 363, 2016.
- LARSEN, T. A. et al. Re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. **Environmental Science & Technology**, v. 35, n. 9, p. 192–197, 2001.
- LEONG, J. Y. C. et al. Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralised system for water recycling and reuse: A review. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 3014–3027, 2017.
- LI, D. et al. Effects of low nitrogen supply on relationships between photosynthesis and nitrogen status at different leaf position in wheat seedlings. **Plant Growth Regul**, v. 70, n. 3, p. 257–263, 2013.
- LIU, M. et al. Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence to drought stress in two maize cultivars. **African Journal of Agricultural Research**, v. 7, n. 34, p. 4751–4760, 2012.
- MACHADO, R. S. et al. Respostas biométricas e fisiológicas ao deficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 44, n. 12, p. 1575–1582, 2009.
- MASHILO, J. et al. Drought tolerance of selected bottle gourd [*Lagenaria siceraria* (Molina) Standl.] landraces assessed by leaf gas exchange and photosynthetic efficiency. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 120, p. 75–87, 2017.
- MEDICI, L. O. et al. What about keeping plants well watered? **Environmental and Experimental Botany**, v. 99, p. 38–42, 2014.
- MEDRANO, H. et al. From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. **The Crop Journal**, v. 3, n. 3, p. 220–228, 2015.
- MELO, N. C.; FERNANDES, A. R.; GALVÃO, J. R. Crescimento e eficiência nutricional do nitrogênio em cultivares de milho forrageiro na amazônia. **Revista Caatinga**, v. 28, n. 3, p. 68–78, 2015.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Plant Science**, v. 7, n. 9, p. 927–949, 2002.
- NICOLAU SOBRINHO, W. et al. Acúmulo de nutrientes nas plantas de milho em função da adubação orgânica e mineral. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 107–110, 2009.
- OLIVEIRA, A. et al. Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 561–571, 2017.
- ROSTAMZA, M. et al. Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. **Agricultural Water Management**, v. 98, n. 10, p. 1607–1614, 2011.
- SANTOS, M. G. et al. Caatinga, the Brazilian dry tropical forest: can it tolerate climate changes?. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 26, n. 1, p. 83–99, 2014.

- SANTOS JÚNIOR, J. et al. Interação urina e efluente doméstico na produção do milho cultivado em solos do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 456–463, 2015.
- SCHAER-BARBOSA, M.; SANTOS, M. E. P. DOS; MEDEIROS, Y. D. P. Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 2, p. 17–32, 2014.
- SILVA, A. G. et al. Eficiência da fertilização fosfatada e nitrogenada em cultivares de milho. **Ciência Animal Brasileira**, v. 15, n. 2, p. 119–127, 2014.
- SILVA, E. N. et al. Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. **Journal of Arid Environments**, v. 74, n. 10, p. 1130–1137, 2010.
- SINGH, B. R.; SINGH, D. P. Agronomic and physiological responses of sorghum, maize and pearl millet to irrigation. **Field Crops Research**, v. 42, n. 2-3, p. 57-67, 1995.
- SOUSA, G. G. DE et al. Growth, gas exchange and yield of peanut in frequency of irrigation. **Revista Ciênci**, v. 45, n. 1, p. 27–34, 2014.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- TARDIEU, F.; GRANIER, C.; MULLER, B. Water deficit and growth. Co-ordinating processes without an orchestrator?. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 14, n. 3, p. 283–289, 2011.
- TEAM CORE R. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2017.
- TEODORO, A. et al. Desinfecção de água cinza por fotocatalise heterogênea. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, n. 5, p. 1017–1026, 2017.
- TEZARA, W. et al. Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. **Nature**, v. 401, n. 6756, p. 914–917, 1999.
- TOLEDO, J. V et al. Alterations on the evapotranspiration of sugarcane cultivars under distinct salinity levels applied in the fertigation. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 37, n. 5, p. 940–952, 2017.
- UPPAL, R. K. et al. Balanced nutrition increases yield of pearl millet under drought. **Field Crops Research**, v. 177, p. 86–97, 2015.
- VIMAL, S. R. et al. Soil-Plant-Microbe Interactions in Stressed Agriculture Management: A Review. **Pedosphere: An International Journal**, v. 27, n. 2, p. 177–192, 2017.
- WEN, X. et al. Effects of Water-Collecting and -Retaining Techniques on Photosynthetic Rates, Yield, and Water Use Efficiency of Millet Grown in a Semiarid Region. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 7, p. 1119–1128, 2012.
- ZHANG, L. et al. Rubisco gene expression and photosynthetic characteristics of cucumber seedlings in response to water deficit. **Scientia Horticulturae**, v. 161, p. 81–87, 2013.
- ZHANG, Y. et al. Nitrogen fertigation effect on photosynthesis, grain yield and water use efficiency of winter wheat. **Agricultural Water Management**, v. 176, p. 277–287, 2017.

CAPÍTULO 3 - DINÂMICA DAS CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS DO MILHETO E APORTE DE SAIS AO SOLO IRRIGADO COM DIFERENTES LÂMINAS DE ÁGUA RESIDUÁRIA

Resumo

Objetivou-se estudar a dinâmica temporal das características estruturais do milho e o grau de associação dessas características com o acúmulo de fitomassa do milho, além do aporte de sais ao solo promovido pela irrigação com diferentes lâminas de água residuária em plantas com e sem adubação orgânica. A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido sob delineamento em blocos casualizados em esquema fatorial ($4 \times 2 + 1$) com três repetições, sendo o primeiro fator as lâminas de irrigação com água residuária (25, 50, 75 e 100% da água disponível do solo) e o segundo fator doses de esterco bovino (0 e 34 Mg ha⁻¹), acrescentando-se ainda um tratamento controle (irrigação com 100% da água disponível com água de abastecimento público e sem adubação). Ao longo do ciclo do milho foram realizadas avaliações semanais das seguintes características estruturais: comprimento do colmo, diâmetro do colmo, número de perfilhos, número de folhas totais, número de folhas vivas e número de folhas mortas. Para descrever o comportamento das características estruturais ao longo do período experimental, foram ajustados modelos matemáticos (regressão quadrática e sigmoïdal) e realizada a análise de componentes principais. Ao final do experimento a fitomassa produzida foi correlacionada com as características estruturais e amostras de solo foram coletadas para determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo e do sódio solúvel. A água residuária não influenciou nas características estruturais, acúmulo de fitomassa e na massa de raízes na cultura do milho. A dinâmica do crescimento do milho, para a maioria das suas características estruturais, é explicada por equação sigmoïdal com exceção do número de folhas vivas que se ajustou a regressão quadrática. A análise de componentes principais demonstrou-se útil para a interpretação da dinâmica das características estruturais do milho, ao reduzir a quantidade de variáveis, sem perdas de informações importantes. A utilização de águas residuárias na irrigação a longo prazo pode causar a salinização do solo.

Palavras-chave: *Pennisetum glaucum*, adubação orgânica, águas cinzas, condutividade elétrica do solo.

Abstract

The objective of this study was to study the temporal dynamics of the millet's structural characteristics and the degree of association of these characteristics with millet phytomass accumulation, as well as the contribution of salts to the soil promoted by irrigation with different water slides in plants with and without organic fertilization. The research was conducted in a protected environment under a randomized block design in a factorial scheme ($4 \times 2 + 1$) with three replications, the first factor being irrigation sludge with residual water (25, 50, 75 and 100% ground) and the second factor bovine manure (0 and 34 Mg ha⁻¹), adding further a control treatment (irrigation with 100% of water available to the public water supply and without fertilization). During the millet cycle, weekly evaluations of the following structural characteristics were performed: stalk length, stalk diameter, number of tillers, total leaves number, number of live leaves and number of dead leaves. To describe the behavior of the structural characteristics throughout the experimental period, mathematical models (quadratic and sigmoid functions) were adjusted, and principal components analysis was performed. At the end of the experiment, the phytomass produced was correlated with the structural characteristics, and soil samples were collected to determine the electrical conductivity of the soil saturation extract and the soluble sodium. Wastewater did not influence the structural characteristics, phytomass accumulation and root mass in the millet crop. The dynamics of millet growth, for most of its structural characteristics, is explained by the sigmoid function except the number of live leaves that adjusted to the quadratic regression. The principal components analysis proved useful for the interpretation of the dynamics of the structural characteristics of millet by reducing the number of variables without loss of relevant information. The use of wastewater in long-term irrigation can cause soil salinization.

Keywords: *Pennisetum glaucum*, organic fertilization, graywater, soil electrical conductivity.

1 Introdução

A região semiárida do Nordeste brasileiro é caracterizada por elevada evapotranspiração e irregularidades na distribuição espaço-temporal das chuvas, comprometendo a recarga dos corpos hídricos e causando instabilidade na produção agropecuária (SILVA et al., 2017). A limitação de água ao longo do ciclo das plantas promove o estresse hídrico, sendo esse um dos principais fatores dos estresses abióticos que limita a

produção das culturas, podendo se tornar ainda mais severo em cenários climáticos futuros (REDDY et al., 2017).

A utilização de água de esgoto doméstico na irrigação é uma alternativa de manejo que busca minimizar os impactos da escassez hídrica nas regiões semiáridas. Embora a água residuária contenha quantidades consideráveis de nutrientes, também é tipicamente caracterizado por alto teor de sal, o que pode prejudicar os rendimentos agrícolas e causar impactos ambientais ao solo (EREL et al., 2019). Assim, torna-se necessário um monitoramento da salinidade do solo irrigado com água residuária, sendo que a condutividade elétrica do solo é a variável mais utilizada, por ter baixo custo, ser de fácil execução além de permitir medições em condições de campo (MENEZES; MATTOS, 2018). Além do reúso de água, reduções nas lâminas de irrigação e o cultivo de espécies vegetais tolerantes a deficiência hídrica são estratégias indicadas para utilização no semiárido. Dentre essas espécies pode-se destacar o milheto (*Pennisetum glaucum*) por ser adaptado às altas temperaturas e déficit hídrico e salinidade (NELSON et al., 2018).

A avaliação das características estruturais é uma importante ferramenta para compreensão do desenvolvimento das plantas forrageiras, podendo ser utilizada para analisar as respostas das plantas às condições de manejo e ambiente. Entretanto, são escassos os trabalhos que caracterizam a variação temporal da estrutura e morfologia do milheto sob irrigação deficitária, ainda mais quando água residuária é utilizada.

O estudo de curvas de crescimento, via modelos não lineares, reduzem informações presentes no conjunto de dados, resumindo-as em apenas alguns parâmetros/ou curvas com interpretações práticas (NASCIMENTO et al., 2017). Técnicas de estatística multivariada, como a análise de componentes principais (ACP), também pode auxiliar na compreensão da dinâmica temporal das características estruturais, pois permite reduzir a quantidade de medidas para dois componentes (ACP1 e ACP2) que explicam a maior parte da variação dos dados (RAIESI; KABIRI, 2016).

Ter compreensão da variação das características morfológicas e estruturais das plantas ao manejo do ambiente é essencial, pois essas características estão correlacionadas com o acúmulo de fitomassa das plantas. No entanto, essa análise realizada unicamente pelo coeficiente de correlação de Pearson pode gerar erros no estudo da associação de duas variáveis, pois tal relação pode estar sob a influência de uma terceira variável ou de um conjunto de variáveis (BRAZ et al., 2017). A análise de correlações parciais complementa

essa informação, revelando se a relação entre as variáveis é uma causa ou um efeito ou influenciada por outras variáveis. Assim, através dessas análises pode-se identificar as características morfológicas e estruturais com mais contribuições no desenvolvimento e no acúmulo de matéria seca de um vegetal.

Diante do contexto, objetivou-se estudar a dinâmica temporal das características estruturais do milho e o grau de associação dessas características com o acúmulo de fitomassa da cultura, além do aporte de sais ao solo promovido pela irrigação com diferentes lâminas de água residuária em plantas de milho com e sem adubação orgânica.

2 Material e métodos

A pesquisa foi conduzida em ambiente protegido na Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada, semiárido pernambucano (altitude: 429 metros, latitude: 7° 56' 15" S e longitude: 38° 18' 45" O). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo BShw' semiárido, quente e seco. As condições meteorológicas (médias diárias) da casa de vegetação durante a condução do experimento foram temperatura de 30,09±1,57 °C e umidade relativa do ar de 44,00±5,48%. Foi adotado o delineamento em blocos causalizados, no esquema fatorial 4 x 2 + 1 (testemunha) com três repetições, de modo que foram estudados lâminas de irrigação com água residuária para quatro frações de água disponível do solo (25, 50, 75 e 100%) e duas condições de adubação orgânica (com e sem aplicação de esterco bovino). Já a testemunha, recebeu irrigação com água do abastecimento urbano (Tabela 1) com lâmina equivalente a 100% da água disponível do solo e não recebeu adubação.

A água residuária (Tabela 1) foi coletada a partir de um sistema de captação de água proveniente do banho, da cozinha e da lavagem de roupa de uma residência rural. Esse sistema de filtragem é composto por uma caixa de retenção de gordura, um tanque de filtragem (formado por uma camada superficial de carvão vegetal, seguidas por uma camada de brita grossa, areia grossa, areia fina e brita fina, respectivamente) cuja função é reter as partículas maiores da própria gordura, restos de sabão e orgânicos, que não foram retidas na caixa de gordura, e por último, um tanque tranquilizador, onde é captada a água utilizada para irrigação.

Tabela 1. Análise química da água de abastecimento (AA) e da água residuária (AR) utilizadas na irrigação do milho.

Componentes	AA	AR	Componentes	AA	AR
Cálcio (mmol L ⁻¹)	0,64	2,2	Cloro (mmol L ⁻¹)	0,60	9,60
Magnésio (mmol L ⁻¹)	0,48	0,68	Cobre (mg L ⁻¹)	0,04	0,06
Sódio (mmol L ⁻¹)	0,32	17,04	Ferro (mg L ⁻¹)	0,08	0,08
Potássio (mmol L ⁻¹)	0,07	0,46	Manganês (mg L ⁻¹)	0,03	0,05
Carbonato (mmol L ⁻¹)	0,00	0,24	Zinco (mg L ⁻¹)	0,05	0,05
Bicarbonato (mmol L ⁻¹)	0,40	4,00	Potencial hidrogeniônico (pH)	7,20	7,75
Sulfatos (mmol L ⁻¹)	0,04	0,17	Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	0,20	0,98
Razão de adsorção de sódio	0,27	8,69	Classificação da água*	C1S1	C3S2

* Classificação quanto ao risco de salinização e sodificação proposta por Richards (1954).

A cultivar de milho IPA-Bulk-1 BF (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Bi) foi semeada em vasos com capacidade para 18 litros. Esses vasos foram preenchidos com solo até atingir uma densidade de 1,30 g cm⁻³, coletado na camada de 0-20 cm de um Cambissolo Háplico, após ser destorroado e peneirado (malha de 4 mm). As características químicas e físicas desse solo são: 40,0 mg dm⁻³ de fósforo; 43 mg dm⁻³ de ferro; 0,68 cmol_c dm⁻³ de potássio; 1,30 cmol_c dm⁻³ de cálcio; 0,27 cmol_c dm⁻³ de sódio; 1,0 cmol_c dm⁻³ de hidrogênio + alumínio; 0,88 % de matéria orgânica; 72,2 % de areia; 17,2 % de silte; 10,5 % de argila; 7,1 de potencial hidrogeniônico. Para os tratamentos que receberam adubo orgânico, o mesmo foi adicionado ao solo e homogeneizado para posterior preenchimento dos vasos, sendo adicionado 645 g de esterco bovino por vaso, equivalente a 34 Mg ha⁻¹, dose suficiente para pleno crescimento do milho (NICOLAU SOBRINHO et al., 2009). O esterco bovino apresentou a seguinte caracterização química: 10,44 g kg⁻¹ de nitrogênio; 5,28 g kg⁻¹ de fósforo; 10,50 g kg⁻¹ de potássio; 11,20 g kg⁻¹ de cálcio; 6,85 g kg⁻¹ de magnésio; 113,29 g kg⁻¹ de carbono e 11 g kg⁻¹ de relação carbono nitrogênio.

Para definição da água disponível do solo (AD), foi determinada a umidade do solo na capacidade máxima de retenção dos vasos (CRV), seguindo a metodologia de Cassaroli e Jong Van Lier (2008), e do ponto de murcha permanente (PMP), submetendo amostras de solo indeformadas a uma pressão de 15 ATM em Extrator de Richards. A AD é o resultado da subtração entre essas umidades (CRV - PMP). Os procedimentos descritos para determinação da AD foram realizados para amostras de solo com e sem esterco, obtendo os seguintes resultados: para o solo sem esterco 0,18 g g⁻¹ e 0,03 g g⁻¹ referente a CRV e PM,

respectivamente; e para o solo com esterco 0,20 g g⁻¹ e 0,05 g g⁻¹ referente a CRV e PM, respectivamente.

Na ocasião da semeadura, foram distribuídas seis sementes de milho por vaso, a 2,0 cm de profundidade. Do semeio até o décimo quinto dia, após a emergência das plântulas, foi considerado como período de formação do estande. Todos os vasos foram irrigados diariamente com água do abastecimento urbano, mantendo-se o solo sempre na capacidade de campo. Após esse período, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso. Em seguida, iniciou-se a aplicação das diferentes lâminas de água residuária com base nas frações de água disponível do solo (25, 50, 75 e 100% AD). As irrigações foram realizadas diariamente, repondo-se a massa de água perdida pelo processo de evapotranspiração, pesando-se os vasos.

Após o início da aplicação dos tratamentos (DAT) o experimento foi conduzido por 60 dias. Semanalmente, foram realizadas medidas das características de crescimento do milho: comprimento do colmo (medindo-se da base da planta até o último nó); número de folhas vivas (sendo considerada folha viva a que estava totalmente expandida e apresentava mais de 50% da área foliar sem estar comprometida pela senescência); número de folhas mortas (folhas que apresentavam mais de 50% da área foliar comprometida pela senescência); número de folhas totais (soma do número de folhas vivas mais o número de folhas mortas); diâmetro do colmo (medido com um paquímetro a 3 cm da superfície do solo) e o número de perfilhos.

Para facilitar a interpretação das informações obtidas a partir dessas análises de crescimento, foram ajustados modelos não lineares, equações de segundo grau (equação 1) e sigmoidal (equação 2) para descrever o comportamento das variáveis estruturais ao longo do experimento (CRUZ et al., 2014):

$$Y_i = b_0 + b_1 X_i + b_2 X_i^2 \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{a}{1 + \exp(-(X_i - X_0)/b)} \quad (2)$$

sendo que Y_i variável dependente; X_i variável independente; b_0 , b_1 e b_2 são coeficientes de ajuste da equação de segundo grau; a , X_0 e b são coeficientes de ajuste do modelo sigmoidal.

Em seguida, foi empregado o método de estatística multivariada, análise de componentes principais, que segundo Manly e Alberto (2016) descreve a variação de dados em poucos índices que são combinações lineares das variáveis e não correlacionadas entre si.

Ao final do experimento (60 DAT), as plantas em cada parcela foram cortadas rente ao solo, para determinação da fitomassa. Também foram coletadas as raízes de cada parcela experimental, sendo que o solo era retirado do vaso, destorroado e passado em peneira (malha de 4 mm) para retenção das raízes, que foram posteriormente lavadas em água corrente. Após esses procedimentos a parte aérea e as raízes foram acomodadas em estufa a 65 °C até atingir peso constante, para determinação da matéria seca desses componentes da planta (DETMANN et al., 2012). Em cada parcela experimental foi coletada uma amostra de solo para determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}), seguindo a metodologia descrita por Freire et al. (2016).

De posse das informações de matéria seca, foi realizada análise de correlação de Pearson, entre o acúmulo de matéria seca na parte aérea e raízes com as medidas das características estruturais das plantas (dados da última análise de crescimento realizada no dia da colheita), para identificar as variáveis estruturais com efeito associativo com o acúmulo de matéria seca na parte aérea e na raiz. Com esse mesmo conjunto de dados foi realizada a análise de correlações parciais, visando a redução do erro entre a associação de duas variáveis que está sob influência de uma terceira ou de um conjunto de variáveis (BRAZ et al., 2017). Relacionar a fitomassa produzida com as características estruturais das plantas é uma alternativa interessante, visto que estas são mais fáceis de serem medidas ao longo do ciclo e podem apresentar forte correlação com o acúmulo de fitomassa.

Para se avaliar o acúmulo de matéria seca na parte aérea e nas raízes, realizou-se a análise de variância (teste F a 5 %) e teste de Tukey (5%). Antes de realizar as análises descritas, os dados foram submetidos inicialmente aos testes de normalidade de Shapiro-Wilk e de homocedasticidade de Cochran. O programa utilizado para realizar as análises estatísticas, bem como para a confecção dos gráficos foi o software estatístico R (TEAM CORE R, 2017).

3 Resultados e discussão

3.1 Dinâmica temporal das características estruturais do milheto

Os dados coletados ao longo do período de estudo das variáveis comprimento de colmo (CC), diâmetro de colmo (DC), número de perfilhos (NP), número de folhas totais (NFT) e número de folhas mortas (NFM) se ajustaram ao modelo sigmoidal, enquanto que o número de folhas vivas (NFV) foi a única variável a se ajustar ao modelo quadrático (Figura

1). A eficiência de predição dos modelos foi avaliada através do coeficiente de determinação (R^2), podendo ser observado na Figura 1.

Na Tabela 2 são apresentados os coeficientes dos modelos, ajustados aos seus respectivos tratamentos. O parâmetro ‘a’ do modelo sigmoidal (equação 1) está relacionado ao valor máximo que a característica estrutural atingiu. Assim, nota-se que para as características CC, NP, NFT e NFM os tratamentos que receberam adubo e foram irrigados com as maiores frações de água disponível do solo (100%, 75% e 50%), obtiveram maiores valores para esse parâmetro, indicando um maior crescimento das plantas sob esses tratamentos. Já o parâmetro ‘X0’ do mesmo modelo indica, após iniciada os tratamentos (DAT), com quantos dias as plantas de milho atingem 50% do valor máximo da característica estrutural, onde quanto menor esse valor mais rápido as plantas atingem a fase reprodutiva. As plantas irrigadas com 100, 75 e 50% da AD do solo apresentaram menores valores para esse parâmetro nas características estruturais CC, NP, NFT e NFM.

Tabela 2. Coeficientes dos modelos sigmoidal e regressão quadrática, ajustados a partir dos dados medidos nas plantas de milho sob diferentes lâminas de água residual, com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino).

Trat.	Comprimento do colmo			Diâmetro do colmo			Número de perfilhos		
	a	X0	b	a	X0	b	a	X0	b
T1	89,01	23,93	6,28	9,07	11,76	5,17	3,00	14,36	0,50
T2	83,50	19,95	4,25	8,12	11,21	7,19	2,28	6,09	0,98
T3	86,44	22,18	4,58	8,53	10,10	8,36	2,57	6,32	1,36
T4	76,87	21,07	4,88	8,55	10,54	3,52	2,71	6,57	1,41
T5	114,0	19,07	4,36	10,19	7,27	3,72	4,15	9,30	4,31
T6	95,19	15,43	4,56	9,02	8,79	3,49	5,34	14,51	5,00
T7	93,16	17,51	4,92	9,93	10,22	2,90	3,79	10,72	4,89
T8	76,44	18,43	5,70	9,05	11,68	3,17	3,10	8,63	4,54
T9	82,26	23,60	7,50	8,42	10,74	5,05	2,92	9,93	4,82
	Nº de folhas totais			Número de folhas vivas			Número de folhas mortas		
	a	X0	b	b0	b1	b2	a	X0	b
T1	15,49	11,49	6,19	1,36	0,58	-0,006	11,57	83,69	7,98
T2	20,04	15,64	9,47	3,04	0,45	-0,005	8,54	33,91	7,48
T3	19,41	13,76	7,56	2,35	0,59	-0,007	7,88	32,43	7,31
T4	18,13	11,51	6,65	3,04	0,58	-0,009	12,10	35,49	7,60
T5	30,56	15,60	6,39	2,67	0,81	-0,009	13,93	30,05	6,15

T6	32,66	15,54	6,00	1,93	1,07	-0,013	13,74	29,46	4,56
T7	29,04	14,14	5,63	2,18	0,97	-0,013	12,75	29,86	5,02
T8	25,03	14,71	5,81	1,08	0,96	-0,014	13,36	32,06	5,66
T9	19,44	13,92	6,35	1,47	0,70	-0,009	8,12	33,21	7,39

a, X0 e b - coeficientes do modelo sigmoidal; b0, b1 e b2 – coeficientes do modelo de segundo grau; AD – água disponível do solo; T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.

O número de folhas vivas (NFV) se ajustou melhor a regressão quadrática, apresentado $R^2 > 0,50$ (Tabela 2), após a derivação da regressão se obteve o X_{max} (dia que ocorre o maior NFV). As plantas sem adubação apresentaram o maior NFV aos 48, 45, 42 e 32 dias, para as respectivas frações de 100, 75, 50 e 25% de AD do solo. Já as plantas adubadas, o maior NFV foram alcançadas aos 45, 41, 37 e 34 dias seguindo a mesma ordem das frações de AD do solo. Independente da condição de adubação o X_{max} reduz em função do menor suprimento de água, assim, plantas de milho com deficiência hídrica tendem a apresentar uma menor proporção de folhas vivas mais rapidamente ao longo do ciclo, merecendo atenção especial para que a qualidade do alimento não seja prejudicada por uma colheita tardia, onde haverá maior proporção de folhas mortas.

O comprimento do colmo apresentou um crescimento acelerado entre os 10 a 35 DAT, ocorrendo estabilização do crescimento após esse período (Figura 1A). Os tratamentos adubados tiveram maior altura de plantas em todos os tempos de avaliação, em comparação aqueles não adubados. As plantas adubadas apresentaram um maior crescimento, pois o fornecimento adequado de nutrientes acelera o processo de diferenciação tecidual e conseqüentemente a expansão tecidual (LI et al., 2013). O comprimento do colmo sofreu reduções com a diminuição das lâminas de irrigação, sendo que essa redução foi mais drástica para os tratamentos que receberam esterco, chegando a ter uma redução de 34% comparado a maior lâmina de irrigação(100% de AD) com a menor (25% de AD). Plantas de milho adubadas apresentam incremento significativo na área foliar, contudo, quando elas são submetidas ao estresse hídrico sofrem mais por demandarem mais água (AFFHOLDER, 1995). O deficit hídrico promove uma menor diferenciação celular e menor número de células, comprometendo a expansão dos tecidos vegetais das plantas (TARDIEU; GRANIER; MULLER, 2011).

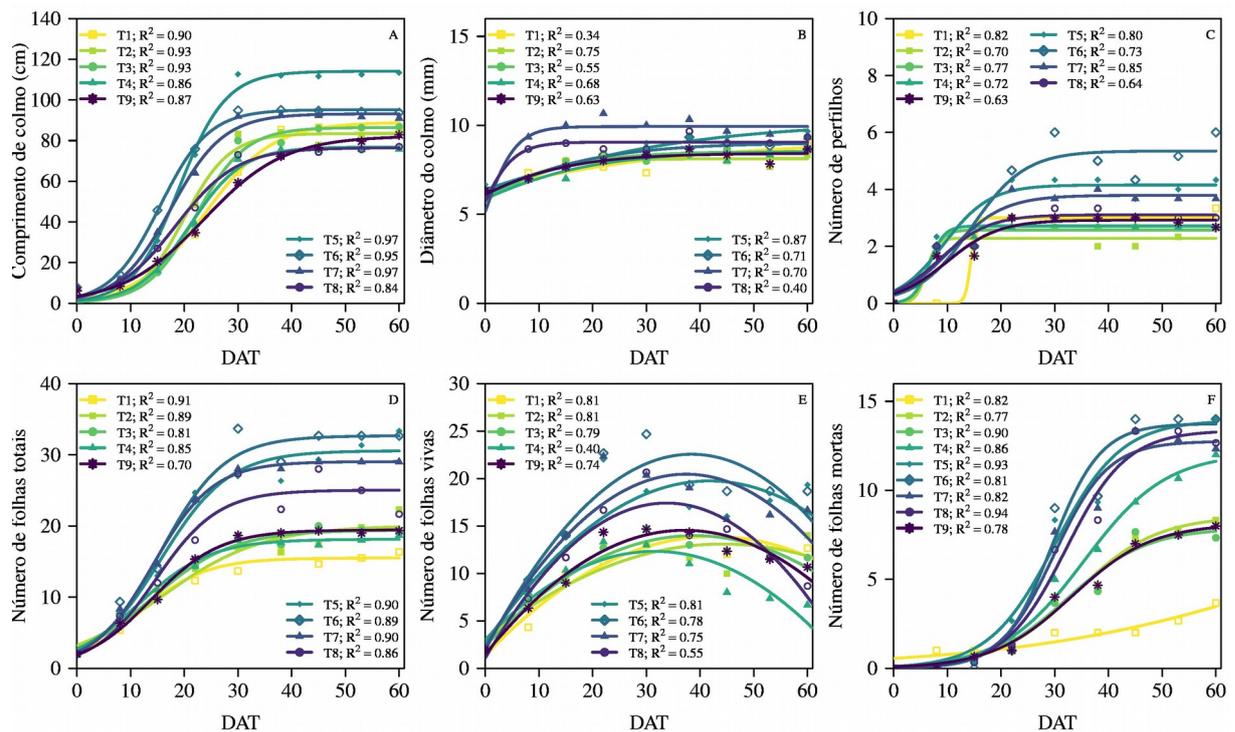


Figura 1. Dinâmica temporal das características estruturais de milho sob diferentes níveis de água residual com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino); DAT – dias após aplicação dos tratamentos; T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.

Vale salientar que quando as plantas foram irrigadas com 75 e 50% da AD a redução no comprimento de colmo foi de apenas 15% (em comparação com 100% de AD), enquanto que para os tratamentos que não receberam adubação ocorreu pouca variação entre as três maiores lâminas de irrigação (100, 75 e 50% AD). Esses resultados sugerem a tolerância do milho a déficit hídricos de até 50% da água disponível do solo. Essa tolerância do milho ao estresse hídrico pode está associada: ao aumento na expressão de determinados genes e proteínas que estão associados com a regulação do transporte de água, facilitando o mesmo (REDDY et al., 2017); a algumas enzimas antioxidantes presentes no milho e que contribuem para atenuar o efeito do estresse hídrico ao eliminar espécies reativas de oxigênio (EROs) (LAKSHMI et al., 2017); e, também, ao acúmulo de osmólitos compatíveis (prolina, aminoácidos livres e açúcar solúveis) que contribuem para que o milho faça um ajustamento osmótico (reduzindo o potencial hídrico celular), para continuar absorvendo água mesmo sob déficit hídrico (MARVIYA et al., 2016).

O diâmetro do colmo (DC) foi a variável que menos respondeu aos tratamentos aplicados, não sendo observadas diferenças bruscas em função da limitação hídrica ou da adubação (Figura 1B). Esse componente apresentou estabilização do desenvolvimento a partir dos 20 DAT, sendo que as plantas adubadas tenderam a possuir um maior DC. O diâmetro do colmo é um componente estrutural importante e está associado com o índice de tombamento das plantas, onde quanto maior o DC menor esse índice (COSTA et al., 2016). O acamamento/tombamento de plantas reduz a qualidade da silagem/forragem por aumentar a proporção de material morto (SANTOS et al., 2013).

As demais características estruturais estudadas apresentaram comportamento similar ao comprimento do colmo, em resposta ao estresse hídrico e a adubação. O número de perfilhos apresentou estabilidade a partir dos 10 DAT quando as plantas não receberam adubação, e aos 30 DAT quando as plantas receberam (Figura 1C). O nível de água disponível do solo (AD) não influenciou na dinâmica do número de perfilhos nos tratamentos sem adubação. Já para os tratamentos que receberam adubação, nota-se que o número de perfilhos decresce com o nível de AD do solo. Ocorre uma estabilização do número de folhas totais (NFT) das plantas a partir dos 30 DAT (Figura 1D). Para os tratamentos sem adubação, a dinâmica do NFT não sofre alterações em função da AD do solo, contudo, as plantas adubadas apresentaram um decréscimo no NFT em função da redução da AD.

O número de folhas vivas (NFV) possui um comportamento quadrático com o tempo (DAT) para todos os tratamentos, sendo que o NFV máximo foi encontrado entre 30 e 40 DAT (Figura 1E). Quando submetidos ao estresse hídrico mais severo (25% de água disponível), as plantas sofreram uma redução mais acentuada no NFV. A existência de mais folhas por unidade de área tende a aumentar a absorção de CO₂ e maximizar a produtividade. Contudo, o aumento do NFV deve estar associado a outras características estruturais da planta, para que a mesma possa obter uma maior assimilação líquida de carbono e conseqüente acúmulo de fitomassa. Um aumento no número de folhas, não significa uma maior transpiração/fotossíntese, visto que uma maior densidade de cobertura pode aumentar o sombreamento das folhas localizadas na parte mais inferior das plantas e, portanto, levaria à diminuição da taxa geral de transpiração e fotossíntese, por limitação luminosa (THARANYA et al., 2018). Assim, a estrutura de organização da copa, isto é, o arranjo do dossel é de suma importância.

O número de folhas mortas (NFM) tende a uma estabilização a partir dos 45 DAT (Figura 1F). As plantas adubadas, independentemente do nível de água disponível no solo, obtiveram os maiores valores no NFM. Enquanto que as plantas sem adubação e irrigadas com apenas 25% de AD apresentaram o maior NFM. O processo de desenvolvimento da folha finda com sua senescência, que é influenciada por vários fatores ambientais (temperatura do ar e disponibilidade de água), manejo da colheita, disponibilidade de nitrogênio no solo e fatores genéticos (PEREIRA et al., 2011). Esses mesmos autores, também relacionaram o aumento da senescência foliar a altura de planta (quanto maior a altura, mais longo é o estágio de desenvolvimento).

Na Tabela 3, encontram-se os autovetores e os coeficientes de correlação para a análise de componentes principais. Os resultados indicam que 71,03% da variabilidade total foi explicada pelo primeiro componente principal (PC1), e o segundo componente principal (PC2) explicou 14,48% da variabilidade dos dados. A soma dos dois componentes foi suficiente para explicar 85,42% da variabilidade contida nos dados originais. Quando os dois primeiros componentes explicam mais de 80% da variação dos dados, não se faz necessário acrescentar um componente para uma melhor interpretação dos resultados (HÄRDLE; SIMAR, 2007).

Os autovetores (Tabela 3) descrevem os conjuntos de valores que representam o peso de cada variável original sobre cada componente principal. As variáveis analisadas tiveram autovalores próximos no PC1, demonstrando que a contribuição das mesmas para a variância dos dados é próxima. Assim, em experimentos futuros essas variáveis estruturais devem continuar sendo avaliadas, pois todas contribuem de forma significativa para variação dos dados. No caso do diâmetro do colmo e do número de folhas mortas, que apresentaram um menor autovalor no PC1, ambas apresentam maiores valores no PC2. O poder discriminatório de cada variável dentro de um componente principal, pode ser medido pelos coeficientes de correlação de Pearson entre cada variável e o respectivo componente principal (Tabela 3). Todas as variáveis estruturais apresentam correlação acima de 0,7 com o PC1. A exceção do DC que apresentou maior associação ao PC2.

Tabela 3. Coeficientes de carga variável (autovetores) e de correlação de Pearson para os componentes principais, extraídos usando os itens estruturais das plantas de milho irrigadas com diferentes níveis de água residuária com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino).

Variáveis	Autovetores		Coeficiente de correlação	
	PC1	PC2	PC1	PC2
Comprimento de colmo	0,41	0,28	0,86**	0,26 ^{ns}
Diâmetro de colmo	0,29	-0,71	0,60**	-0,70**
Número de perfilhos	0,43	-0,08	0,90**	-0,08 ^{ns}
Número de folhas totais	0,47	0,11	0,97**	0,10 ^{ns}
Número de folhas vivas	0,42	-0,30	0,87**	-0,28 ^{ns}
Número de folhas mortas	0,37	0,54	0,77**	0,51**
Porcentagem de variação	71,03	14,48	-	-
Porcentagem da variação acumulada	71,03	85,42	-	-

PC1 – componente principal 1; PC2 – componente principal 2; ns – correlação não significativa; * correlação significativa a 5%; ** correlação significativa a 1%.

A representação gráfica biplot, que expressa a correlação das variáveis com os componentes principais e entre as próprias características estruturais do milho, é mostrada na Figura 2. Os vetores das características estruturais do milho estão distribuídas no terceiro e quarto quadrante, evidenciando que o diâmetro do colmo é o que mais se distancia das demais variáveis estruturais. Quanto menor o ângulo formado entre os vetores das variáveis, maior é a correlação entre as mesmas. Assim, o diâmetro do colmo é a variável que apresenta menor associação com as demais características estruturais.

O biplot ainda permite identificar como os tratamentos (lâminas de irrigação e adubação) estão ordenados e suas relações entre as variáveis (Figura 2). Logo, através da Análise de Componentes Principais, pode-se realizar uma Análise de Agrupamento, sendo que uma das diferenças é que em vez de levar em consideração a distância entre as amostras, através de alguma medida de distância como a Euclidiana, estaria se levando em consideração a correlação/proximidade entre as amostras (HÄRDLE; SIMAR, 2007). Nota-se uma concentração dos tratamentos T5 (100% de AD com adubação), T6 (75% de AD com adubação) e T7 (50% de AD com adubação), nas proximidades dos vetores das variáveis altura de planta, número de folhas vivas e número de folhas totais. Enquanto que para os demais tratamentos há uma grande dispersão, não sendo possível evidenciar um agrupamento

nas proximidades de alguma variável estrutural da planta. Isso corrobora com os resultados apresentadas na Figura 1, pois mostra que a maioria das características estruturais (CC, NP, NTF, NFV e NFM) das plantas submetidas aos tratamentos T5, T6 e T7 apresentaram maiores valores durante quase todos os tempos de avaliação.

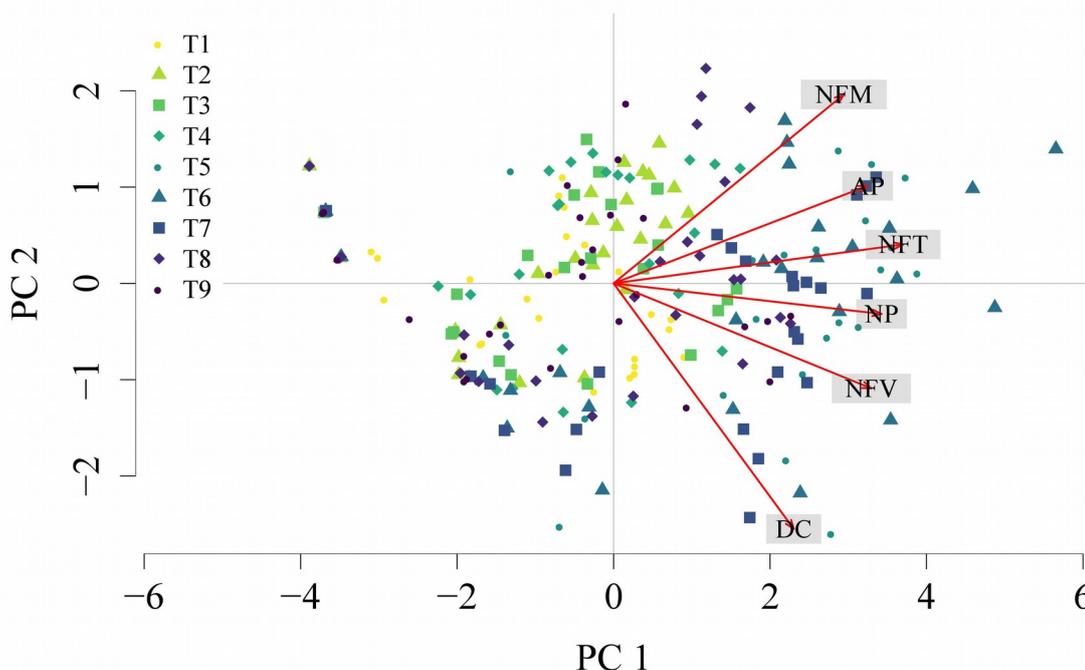


Figura 2. Biplot dos componentes principais (PC1 e PC2) das características estruturais do milho irrigado com água residuária com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino). AD – água disponível do solo; T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.

A partir da análise de componentes principais obteve-se uma série de variáveis latentes para os CP1 e CP2, que representam todo o conjunto de dados das seis características estruturais medidas em oito momentos do ciclo do milho. Em seguida, aplicou-se o teste de comparação de médias para avaliar a diferença entre os tratamentos a partir das variáveis latentes do PC1 e PC2 (Tabela 4). Para o CP1, que explicou a maior proporção da variação dos dados (Tabela 3), os tratamentos T5, T6 e T7 foram superiores estatisticamente aos demais tratamentos e não diferiram entre si (Tabela 4). Enquanto que o tratamento controle (T9) não diferiu dos tratamentos T1 (100% de AD sem adubação), T2 (75% de AD sem adubação), T3 (50% de AD sem adubação) e T4 (25% de AD sem adubação). Esses resultados

corroboram com os da Figura 1, onde os tratamentos que receberam adubação e um maior volume de água (T5, T6 e T7) foram superiores aos demais, para as características estruturais mais relacionadas com o CP1 (CC, NFT, NFM, NFV e NP).

Já para o CP2, que está mais associada ao diâmetro do colmo, não foi encontrada diferença entre a maioria dos tratamentos (Tabela 4), isso mais uma vez confirma o observado na Figura 1B. Assim, reduzir seis variáveis originais das características estruturais do milho (medidas oito vezes ao longo do ciclo) para dois componentes principais, simplificou a análise desse conjunto de dados, sem perda de informação.

Tabela 4. Teste de comparação de médias das variáveis latentes (VL) dos componentes principais 1 e 2 (PC1 e PC2).

VL	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
PC1	-0,99 d	-0,72 cd	-0,58 cd	-0,64 cd	1,19 a	1,36 a	0,90 ab	0,06 bc	-0,58 cd
PC2	-0,05abc	0,30 a	0,12 ab	0,30 a	-0,23 bc	-0,11abc	-0,38 c	0,05 abc	-0,01abc

Médias seguidas por mesma letra minúscula na linha, não diferem estatisticamente pelo teste LSD a 5%. AD – água disponível do solo; T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.

3.2 Acúmulo de matéria seca na parte aérea e raízes

A adubação orgânica aumentou a fitomassa do milho em mais de 100%, independentemente do nível de água disponível do solo (Figura 3). A produção de fitomassa do milho quando irrigado com água do abastecimento foi igual as plantas irrigadas com água cinza que não receberam adubação. Isso demonstra que a água cinza não comprometeu o acúmulo de massa, contudo, não disponibilizou nutrientes para incremento do rendimento do milho. A água cinza geralmente possui uma baixa quantidade de nutrientes dissolvidas, devido a sua origem, que não conta com dejetos das latrinas residenciais (LARSEN et al., 2001). Em experimento com milho, o acréscimo de 4,5% de urina humana no volume de água residual aplicada, proporcionou acúmulo de fitomassa similar a plantas sob fertilização mineral e irrigadas com água de boa qualidade (SANTOS JÚNIOR et al., 2015).

Quando as plantas de milho foram adubadas houve efeito significativo do nível de água disponível do solo, sendo ajustada uma equação polinomial do segundo grau para descrever esse comportamento (Figura 3A). O tratamento irrigado com 25% de AD foi o que obteve menor acúmulo de fitomassa, sendo que para as demais condições de AD não foi

possível observar diferenças. Ao derivar a equação encontra-se o máximo acúmulo de fitomassa ocorre com 79% AD, ocorrendo tendência de decrescimo a partir desse ponto (Figura 3A). Já para as plantas de milho sem adubação não houve influência dos níveis de AD do solo sobre o acúmulo de fitomassa, não sendo possível ajusta nenhum modelo matemático significativo (Figura 3B).

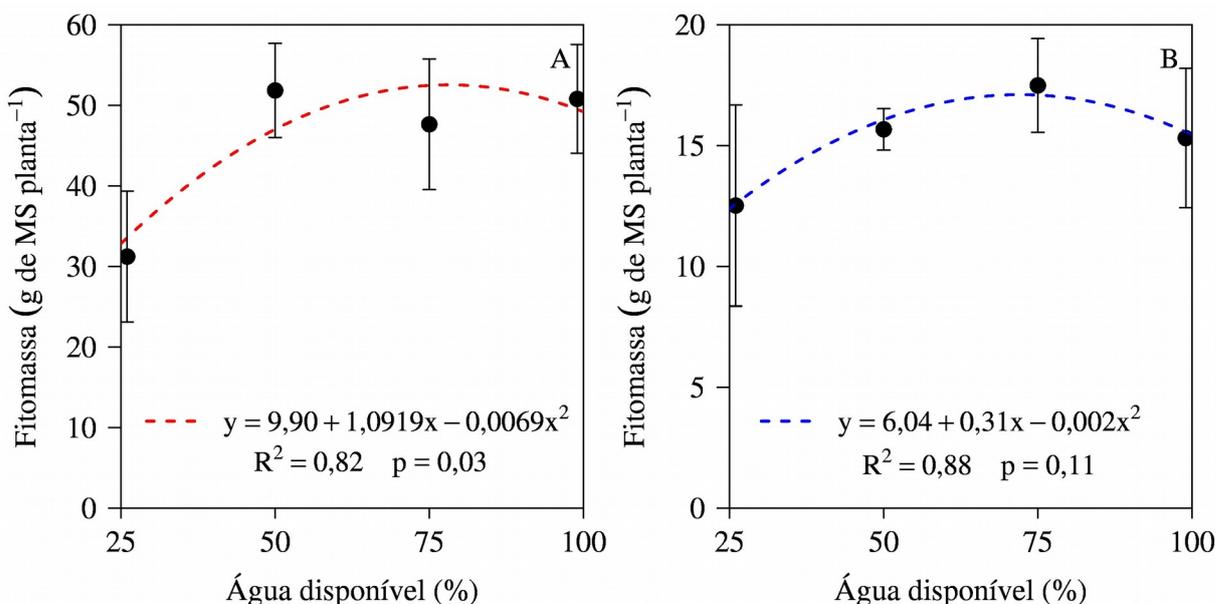


Figura 3. Produção de fitomassa seca em função da água disponível do solo em milho adubado com 34 Mg ha⁻¹ (A) e sem adubação (B).

Quando o milho é adubado possui um aumento da área foliar nas fases iniciais de desenvolvimento, contudo, quanto maior a área foliar maior do deficit hídrico, pois as plantas de milho demandarão mais água (AFFHOLDER, 1995). Os efeitos do estresse hídrico ainda dependem do manejo da irrigação, sendo que quanto menor o intervalo entre os eventos de irrigação, menor será o efeito do deficit hídrico (ISMAIL; EL-NAKHALWY; BASAHI, 2017). Assim, o fato do acúmulo de fitomassa dos tratamentos sem adubação não ter diferido em função da água disponível do solo pode está relacionado a área foliar ser semelhante entre esses tratamentos (indicado pela dinâmica no número de folhas vivas, Figura 1D) e por afreqüência de irrigação ser diária no presente trabalho.

Assim como ocorreu com as características estruturais e com o acúmulo de matéria seca, a massa seca de raízes não foi beneficiada pela irrigação com água residuária (Figura 3). No entanto, a adubação com esterco bovino favoreceu o desenvolvimento das raízes, aumentando a massa seca das mesmas em 3,6 vezes em comparação com os tratamentos sem adubação. O incremento na massa de raízes é importante, pois a mesma possui forte associação com o rendimento de grãos, acúmulo de fitomassa e transpiração das plantas de

milheto (THARANYA et al., 2018). Apesar de alguns autores relacionarem a tolerância ao déficit hídrico do milheto ao incremento do sistema radicular (OLIVEIRA et al., 2017), no presente estudo a massa de raízes não sofreu alterações significativas em função das lâminas de irrigação.

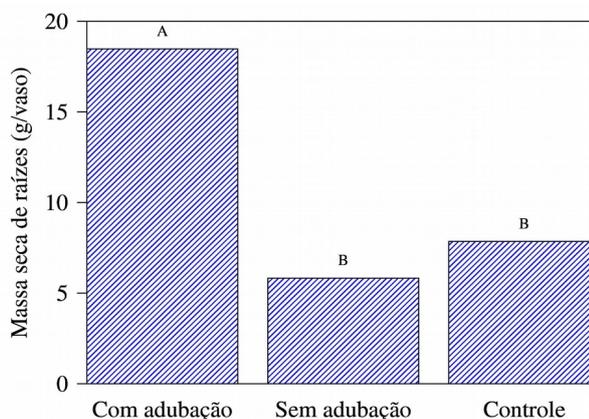


Figura 4. Massa seca de raízes de plantas de milheto irrigadas com diferentes níveis de água residuária (água cinza), sem e com adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino). Letras maiúsculas iguais médias não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

3.3 Relações entre as características estruturais e o acúmulo de fitomassa

Todas as características estruturais do milheto, tiveram correlação de moderada a forte com a matéria seca da planta, a exceção do diâmetro do colmo que apresentou coeficiente de correlação menor que 0,40 (Figura 4A). Como não ocorreu correlação negativa entre as características estruturais, não foi observado efeito de diluição, ou seja, para que uma característica aumente outra tende a reduzir. O que ocorre é uma fraca associação entre algumas características, como por exemplo, o diâmetro de colmo, que possui fraca correlação com todas as outras características estruturais.

Esses resultados são consistentes com os encontrados pela análise de componentes principais (Tabela 3 e Figura 2), pois nessa análise também não foi encontrado efeito diluição e forte associação entre as características estruturais, com exceção do diâmetro do colmo. A maior associação entre acúmulo de fitomassa foi com o número de folhas vivas ($r = 0,84$). Além da grande contribuição para produção total de forragem, as folhas são responsáveis pela interceptação da radiação solar, que promove os processos metabólicos da fotossíntese,

contribuindo para um maior acúmulo de massa nos demais componentes da planta (GIBSON et al., 2011).

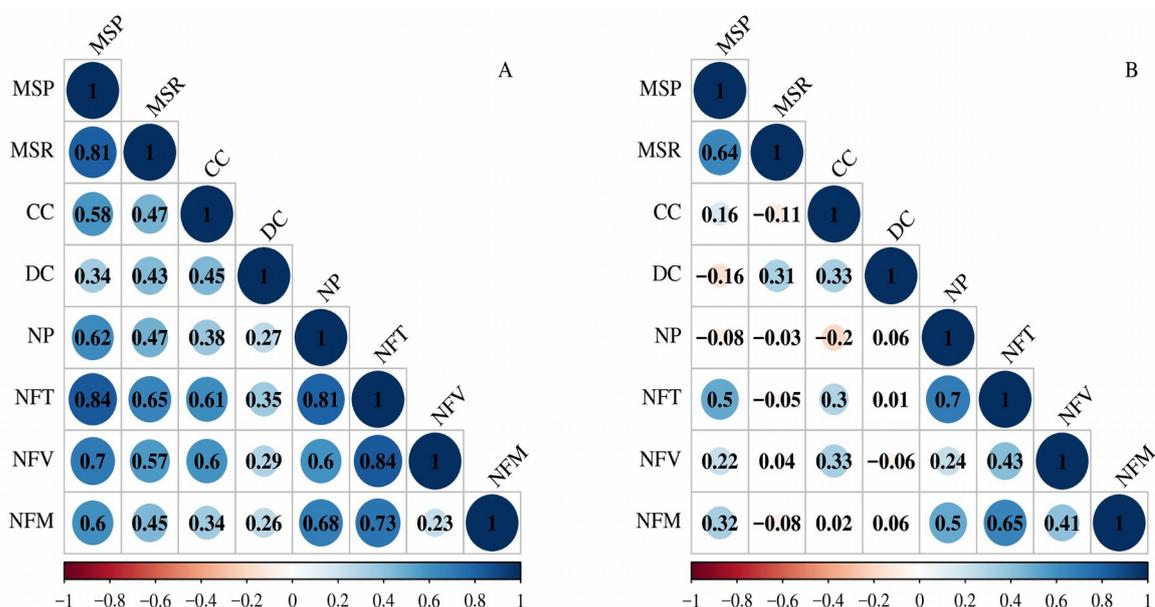


Figura 5. Coeficientes de correlação simples (A) e de correlação parcial (B) das características estruturais com o rendimento de forragem do milho irrigado com água residuária (água cinza), sem e com adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino). MSP é a massa seca da parte aérea, MSR é a massa seca de raízes, CC é o comprimento do colmo, DC é o diâmetro do colmo, NP é o número de perfilhos, NFT é o número de folhas totais, NFV é o número de folhas vivas, NFM é o número de folhas mortas.

Também foi avaliado, por meio de correlação parcial, o grau de associação entre o acúmulo de forragem e as características estruturais do milho (Figura 4B). Isto se fez necessário, pois o coeficiente de correlação simples não representa necessariamente uma relação de causa e efeito entre as características; isto é, o fato de que ambos aumentam ou são inversamente proporcionais não significa que um determinado traço esteja afetando outro, pois pode haver um efeito de uma terceira variável, que influencia os traços em questão (BRAZ et al., 2017). O estudo dos coeficientes de correlação parcial implicou em mudanças consideráveis na estrutura da correlação, havendo decréscimos consideráveis na relação de produção de matéria seca com as características estruturais. A associação com o número de perfilhos e diâmetro do colmo assumiu valor negativo e estatisticamente igual a zero, indicando não haver relação de causa e efeito entre estas variáveis. A matéria seca de raiz e o número de folhas totais foram as variáveis que permaneceram com os respectivos coeficientes de correlação acima de 0,5, demonstrando um grau de associação moderado com a matéria seca da parte aérea (Figura 4B). Assim, essas variáveis são as que mais ajudam a descrever o acúmulo de matéria seca da parte aérea do milho, cultivado em condição de vaso.

Para descrever o acúmulo de fitomassa em função das características estruturais foi ajustado um modelo de regressão múltipla e confeccionado um gráfico de superfície de resposta (Figura 5). Para o ajuste desse modelo foram escolhidas as variáveis número de folhas vivas e comprimento do colmo, por apresentarem associação com o acúmulo de fitomassa e serem de fácil e rápida mensuração. O modelo ajustado a partir dessas duas variáveis apresentou coeficiente de determinação (R^2) de 0,70, demonstrando que para que ocorra acúmulo de biomassa, o crescimento do colmo deve ser acompanhado pelo aumento no número de folhas vivas (Figura 5). Diante disso, em experimentos futuros utilizando a cultura do milho, pode-se utilizar esse modelo para descrever o acúmulo de fitomassa ao longo do ciclo da cultura.

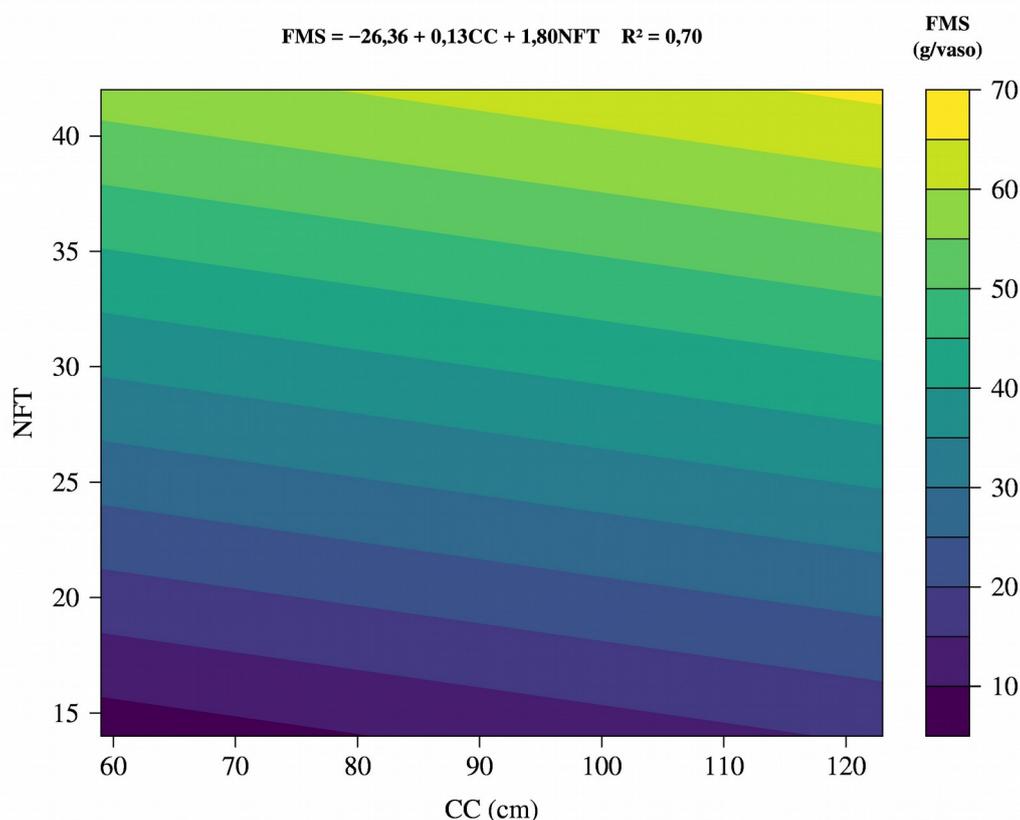


Figura 6. Superfície de resposta da determinação da fitomassa em matéria seca (FMS) em função do comprimento do colmo (CC) e do número de folhas totais (NFT) do milho.

3.4 Evapotranspiração do milho e aporte de sais ao solo

As plantas de milho irrigadas com as maiores lâminas (100, 75 e 50% de água disponível) e adubadas obtiveram os maiores valores de evapotranspiração (Figura 6).

Independentemente das plantas terem recebido adubação, observa-se um decréscimo na evapotranspiração (ET) com a redução da água disponível do solo. O rendimento das plantas do milho sem adubação não apresentou decréscimos significativos, enquanto que aquelas adubadas, apenas as plantas com menor lâmina de água foi significativamente inferior (Tabela 5), porém mais eficiente quanto ao uso da água. Se a produção da cultura declina linearmente com o deficit hídrico, a redução das lâminas de irrigação não será benéfica para os produtores porque a eficiência no uso da água será constante (COMAS et al., 2019).

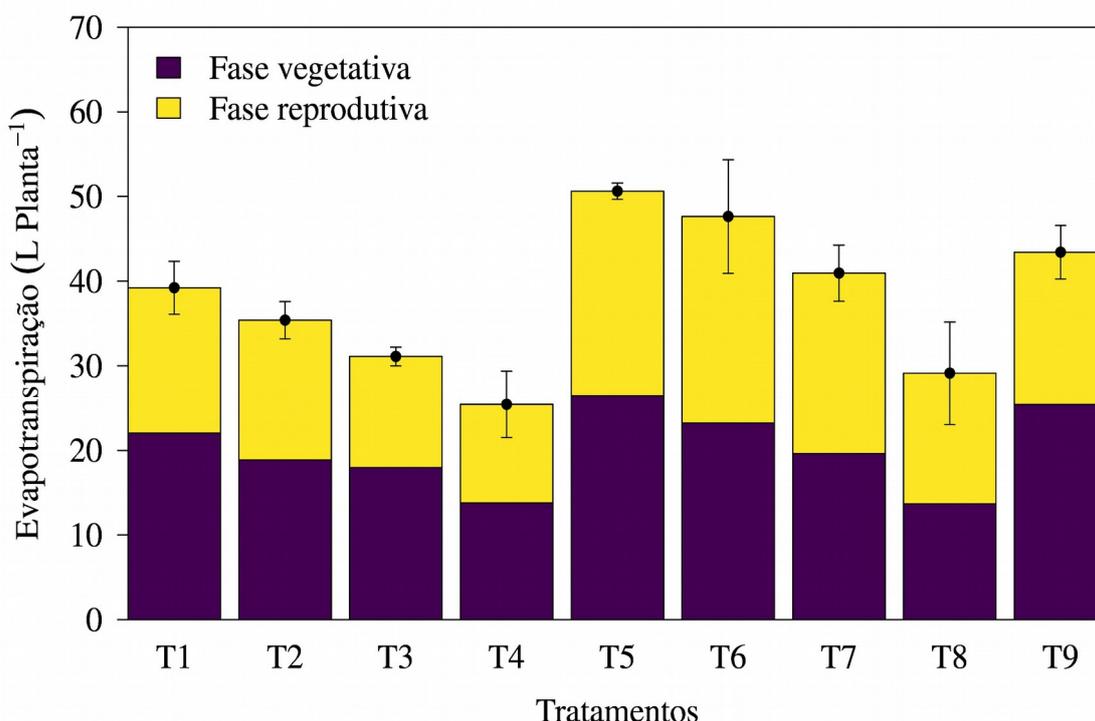


Figura 7. Evapotranspiração durante as fases vegetativa e reprodutiva do milho, irrigado com diferentes regimes hídricos de água residuária com e sem adubação orgânica (0 e 34 Mg ha⁻¹ de esterco bovino). T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.

Quando se analisa a ET por fase fenológica, observa-se que a medida que se reduz o nível de água disponível (AD) do solo, ocorre diminuição da participação da ET na fase vegetativa. Quando as plantas adubadas foram irrigadas com 75, 50 e 25% de AD do solo, a ET da fase reprodutiva superou a da fase vegetativa (Figura 6). Analisando a associação do acúmulo de fitomassa com a ET, constatou-se que o acúmulo de fitomassa apresentou uma maior correlação com a ET da fase reprodutiva ($r = 0,83$), em seguida com a ET total ($r = 0,70$) e por último com a ET da fase vegetativa ($r = 0,51$). Diferenças nos padrões de absorção

de água são fundamentais para alcançar maiores rendimentos sob condições de seca, pois as plantas tendem a absorver mais água na fase reprodutiva (VADEZ et al., 2013). Variedades de milho tolerantes ao déficit hídrico apresentam maior consumo de água durante a fase reprodutiva, deixando mais água disponível para o estágio de enchimento de grãos (BEGGI et al., 2015).

Os solos que receberam tratamentos com adubação tiveram uma maior condutividade elétrica do extrato de saturação (CE_{es}), com destaque para aqueles irrigados com 100 e 75% da AD do solo (Figura 7A), sendo classificados como salinos, por possuírem uma CE_{es} maior que 4 dS m^{-1} (RIBEIRO et al., 2016). Esses tratamentos receberam maiores volumes de água residuária (Figura 6) classificada como C3. Apesar desse aumento considerável da salinidade do solo, o milho não apresentou sintomas de estresse salino, provavelmente por o acúmulo de sais ser distribuído ao longo do ciclo da cultura e também pela tolerância do milho a salinidade, sendo uma das plantas forrageiras que menos perdem rendimentos sob esse tipo de estresse abiótico (SILVA et al., 2018). A falta de resposta das plantas à salinidade quando irrigadas com águas residuárias, pode ser considerando um manejo sustentável, desde que ocorra chuvas suficientes para lixiviação sazonal dos sais (EREL et al., 2019).

Independente da lâmina de água residuária aplicada, os solos com tratamentos sem adubação obtiveram CE_{es} similar, e estatisticamente inferior aos adubados (Figura 7A). Contudo, os valores de CE_{es} destes tratamentos ainda são superiores ao do tratamento controle, que foi irrigado com água do abastecimento com menor potencial de salinizar o solo (Tabela 1). Consequentemente, o controle foi o que menos aumentou a salinidade do solo, quando comparado com a CE_{es} inicial que foi de $0,55 \text{ dS m}^{-1}$. Considerando os níveis de umidade do solo, estima-se que a condutividade elétrica real na zona de raiz seja 2 a 3 vezes maior do que a condutividade encontrada no extrato de saturação (GAL et al., 2017). Problemas quanto a salinização do solo por irrigação com água residuária, também são relatados em Israel, que para atenuar esse efeito, considera a possibilidade da dessalinização do efluente (TAL, 2016).

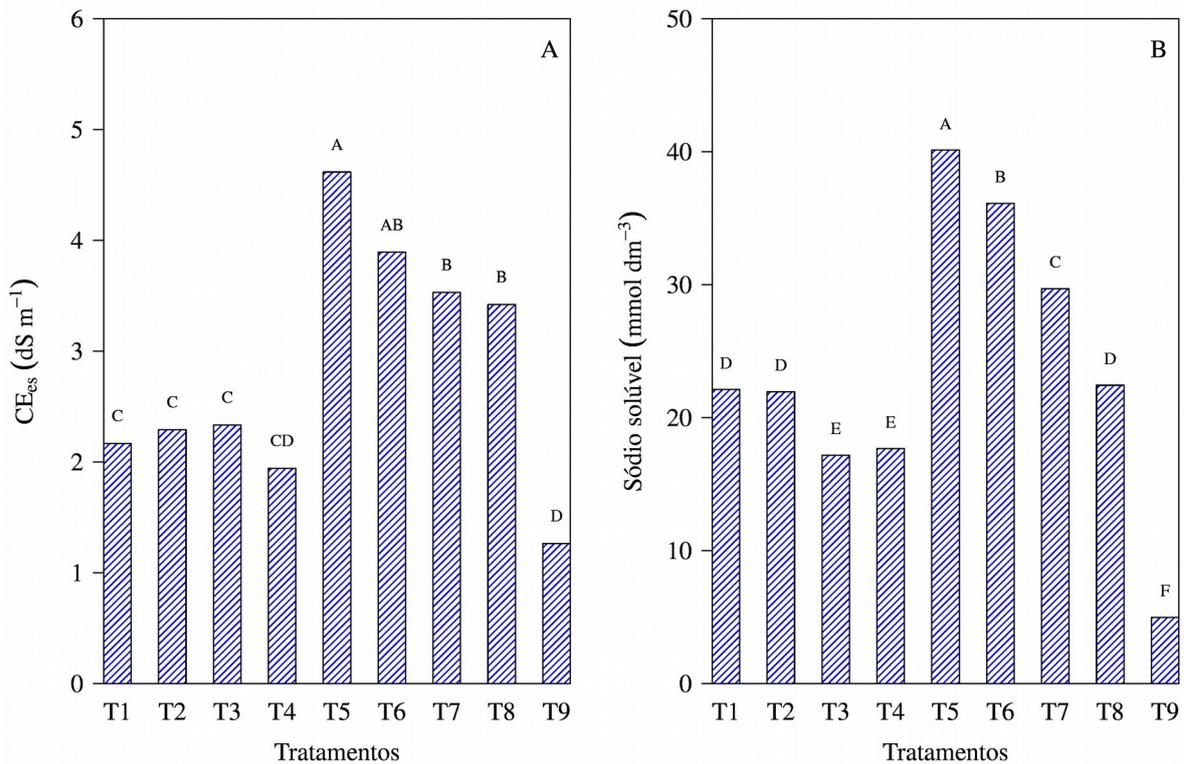


Figura 8. Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, CE_{es} (A), e sódio solúvel do solo, Na (B) em solo cultivado com milho e irrigado com diferentes regimes hídricos de água residuária. T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.

O aumento do sódio (Na) no extrato de saturação do solo é apresentado na Figura 7B. Assim como para a CE_{es} o maior teor de Na foi encontrado nos tratamentos que receberam adubação e maior lâmina de irrigação, e o menor teor de Na no tratamento controle. O incremento de sódio no solo pode levar a um aumento na dispersão de argilas, desestabilizando os agregados do solo, diminuição do movimento da água no perfil do solo e problemas de aeração (EREL et al., 2019). Portanto, o gerenciamento de risco e soluções provisórias são necessários para evitar impactos negativos da irrigação com águas residuárias, pois seu uso a longo prazo pode promover a degradação do solo. Além do efeito tóxico para as plantas, o aumento da salinidade influencia diretamente no potencial osmótico do solo, que passa de desprezível para bastante influente na dinâmica da água do solo para a planta (DUARTE; SOUZA, 2016). Quando há um aumento no potencial osmótico do solo, as plantas tentam gastar mais energia para absorver água, pois precisarão ajustar seu potencial com o do solo.

Para se analisar a associação das variáveis que descrevem o aporte de sais ao solo com a ET, foi realizada análise de regressão entre CE_{es} com ET (Figura 9A) e do Na com ET (Figura 9B). Essa última possuiu um maior coeficiente angular da reta ($b= 0,7670$) e maior coeficiente de determinação ($R^2 = 0,70$). Há uma maior diferença no Na entre as lâminas de irrigação do que a CE_{es} , mostrando uma tendência de redução do sódio mais significativa com a redução das lâminas de irrigação, independente do tratamento com adubação (Figura 7). Esses decréscimos mais significativos corroboraram para que o sódio tivesse um coeficiente angular. A evolução do processo de salinização e sodificação do solo depende da concentração de sais na água, da salinidade inicial dos solos receptores, das condições climáticas e, principalmente, das propriedades físicas dos solos (OLIVEIRA et al., 2018).

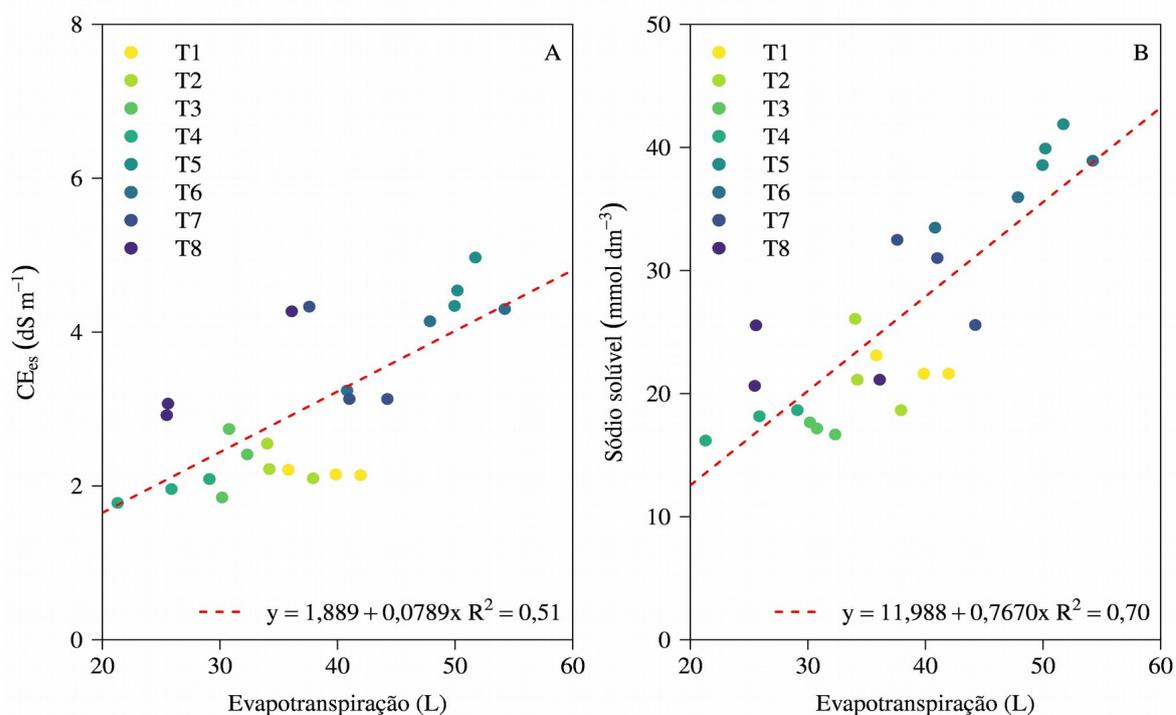


Figura 9. Regressão entre evapotranspiração e condutividade elétrica do extrato de saturação do solo, CE_{es} (A), e regressão entre evapotranspiração e sódio dissolvido no extrato de saturação do solo, Na (B). T1 – 100% de AD sem esterco, T2 – 75% de AD sem esterco, T3 – 50% de AD sem esterco, T4 – 25% de AD sem esterco, T5 – 100% de AD com esterco, T6 – 75% de AD com esterco, T7 – 50% de AD com esterco, T8 – 25% de AD com esterco, T9 – controle.

4 Conclusões

A água residuária (água cinza) não influenciou nas características estruturais, no acúmulo de fitomassa e massa de raízes na cultura do milho.

O modelo sigmoidal se mostrou eficaz para modelar a dinâmica das características estruturais do milho: comprimento do colmo, diâmetro do colmo, número de folhas vivas, número de folhas mortas e número de folhas totais.

A identificação de padrões comuns de variação das características estruturais de plantas de milho, pode ser feita usando a análise de componentes principais, reduzindo a quantidade de variáveis, sem perdas de informações.

O comprimento do colmo, o número de folhas totais e o número de folhas vivas são as características estruturais que apresentam maior correlação com a produção de fitomassa, assim, essas características não devem deixar de ser analisadas em estudos com a cultura do milho.

A utilização de águas residuárias na irrigação deve ser empregada em culturas tolerantes a salinidade e associada com práticas de manejo que permitam a lixiviação dos sais do solo, pois sua utilização a longo prazo pode promover a degradação do solo, devido o aporte de sais.

5 Referências

- AFFHOLDER, F. Effect of organic matter input on the water balance and yield of millet under tropical dryland condition. **Field Crops Research**, v. 41, n. 2, p. 109–121, 1995.
- BEGGI, F. et al. Tolerant pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) varieties to low soil P have higher transpiration efficiency and lower flowering delay than sensitive ones. **Plant Soil**, v. 389, p. 89–108, 2015.
- BRAZ, T. G. S. et al. Partial correlation analysis in the study of morphogenesis and herbage accumulation in *Panicum maximum* cv. “Tanzânia”. **Ciência Rural**, v. 47, n. 9, p. 1–4, 2017.
- CASAROLI, D.; JONG VAN LIER, Q. Critérios para determinação da capacidade de vaso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 1, p. 59–66, 2008.
- CALLEGARI-JACQUES, Sídia M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Artmed Editora, 2009.
- COMAS, L. H. et al. Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. **Agricultural Water Management**, v. 212, n. 1, p. 433–440, 2019.
- COSTA, R. F. et al. Agronomic characteristics of sorghum genotypes and nutritional values of silage. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 38, n. 2, p. 127–133, 2016.
- CRUZ, C.D. et al. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2014. 480p.
- DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2012. 214 p.

- DUARTE, H. F. H.; SOUZA, E. R. DE. Soil Water Potentials and Capsicum annum L. under Salinity. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–11, 2016.
- EREL, R. et al. Long-term irrigation with reclaimed wastewater: Implications on nutrient management , soil chemistry and olive (*Olea europaea* L.) performance. **Agricultural Water Management**, v. 213, n. 1, p. 324–335, 2019.
- FREIRE et al. Métodos de análises químicas para solos salinos. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (Org.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTsal, 2016.
- GAL, A. BEN et al. Response of young bearing olive trees to irrigation - induced salinity. **Irrigation Science**, v. 35, n. 2, p. 99–109, 2017.
- GIBSON, K. et al. Exploiting leaf starch synthesis as a transient sink to elevate photosynthesis , plant productivity and yields. **Plant Science**, v. 181, n. 3, p. 275–281, 2011.
- HÄRDLE, Wolfgang; SIMAR, Léopold. **Applied multivariate statistical analysis**. Berlin: Springer, 2007.
- ISMAIL, S. M.; EL-NAKHALWY, F. S.; BASAHI, J. M. Sudan grass and pearl millets productivity under different irrigation methods with fully irrigation and stresses in arid regions. **Grassland Science**, v. 64, p. 29–39, 2017.
- LAKSHMI, T. V. et al. Differential Response of Antioxidative Enzymes to Various Abiotic Stresses in Pennisetum glaucum Seedlings. **Russian Journal of Plant Physiology**, v. 64, n. 6, p. 889–898, 2017.
- LARSEN, T. A. et al. Re-engineering the toilet for sustainable wastewater management. **Environmental Science & Technology**, v. 35, n. 9, p. 192–197, 2001.
- LI, D. et al. Effects of low nitrogen supply on relationships between photosynthesis and nitrogen status at different leaf position in wheat seedlings. **Plant Growth Regul**, v. 70, n. 3, p. 257–263, 2013.
- MANLY, BRYAN FJ; ALBERTO, JORGE A. Navarro. **Multivariate statistical methods: a primer**. 4^a ed., Chapman and Hall/CRC, 2016, 269 p.
- MARVIYA, G. V.; VAKHARIA, D. N. Effect of Terminal Water Stress and Benzyl Adenine on Osmoregulants in Pearl Millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.] Genotypes. **Indian Journal of Agricultural Biochemistry**, v. 29, n. 1, p. 9-16, 2016.
- MENEZES, L. A. N.; MATTOS, A. T. Condutividade elétrica do solo em função da dose de aplicação de água residuária em áreas de fertirrigação. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 26, n. 4, p. 383–389, 2018.
- NASCIMENTO, C. A. M. S. et al. Avaliação de curvas de crescimento em suínos. **Archivos de Zootecnia**, v. 66, n. 255, p. 317–323, 2017.
- NELSON, W. C. D. et al. Field Crops Research Testing pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. **Field Crops Research**, v. 217, p. 150–166, 2018.
- NICOLAU SOBRINHO, W. et al. Acúmulo de nutrientes nas plantas de milho em função da adubação orgânica e mineral. **Revista Caatinga**, v. 22, n. 3, p. 107–110, 2009.

- OLIVEIRA, A. J. et al. Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 52, n. 8, p. 561–571, 2017.
- OLIVEIRA, A. M. et al. Impactos físico-químicos do descarte de rejeito salino em neossolo e chernossolo do oeste potiguar, Brasil. **Revista Irriga**, v. 23, n. 3, p. 413–425, 2018.
- PEREIRA, O. G. et al. Características morfogênicas e estruturais do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 40, n. 9, p. 1870–1878, 2011.
- RAIESI, F.; KABIRI, V. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment. **Ecological Indicators**, v. 71, p. 198–207, 2016.
- REDDY, P. S. et al. Molecular cloning and expression analysis of Aquaporin genes in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.] genotypes contrasting in their transpiration response to high vapour pressure deficits. **Plant Science**, v. 265, n. June, p. 167–176, 2017.
- RIBEIRO et al. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. S.; LACERDA, C. F.; GOMES FILHO, E. (Org.). **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2. ed. Fortaleza: INCTsal, 2016.
- SANTOS, R. D. et al. Agronomic characteristics of forage sorghum cultivars for silage production in the lower middle San Francisco Valley. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 35, n. 1, p. 13–19, 2013.
- SANTOS JÚNIOR, J. et al. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental Interação urina e efluente doméstico na produção do milheto cultivado em solos do semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 456–463, 2015.
- SILVA, J. R. I. et al. Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. **Revista Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v. 11, n. 3, p. 1-9, 2018.
- SILVA, J. R. I. et al. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. **Scientia Plena**, v. 13, n. 10, p. 1–10, 2017.
- SOUZA, R. M. S. et al. Water balance in pasture area in semi-arid region of Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 449–455, 2015.
- TAL, A. Rethinking the sustainability of Israel 's irrigation practices in the. **Water Research**, v. 90, p. 387–394, 2016.
- TARDIEU, F.; GRANIER, C.; MULLER, B. Water deficit and growth. Co-ordinating processes without an orchestrator? **Current Opinion in Plant Biology**, v. 14, n. 3, p. 283–289, 2011.
- TEAM CORE R. **A Language and Environment for Statistical Computing**. Vienna, Austria, 2017.
- THARANYA, M. et al. Quantitative trait loci (QTLs) for water use and crop production traits co - locate with major QTL for tolerance to water deficit in a fine - mapping population of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L. R. Br.). **Theoretical and Applied Genetics**, v. 131, n. 7, p. 1509–1529, 2018.

VADEZ, V. et al. Small temporal differences in water uptake among varieties of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) are critical for grain yield under terminal drought. **Plant Soil**, v. 371, p. 447–462, 2013.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A água residuária (água cinza) não influencia de forma negativa a produção de fitomassa do milho. Contudo, o aporte de nutrientes ao solo por essa água é baixo, necessitando da adubação com esterco para que maiores rendimentos sejam alcançados. Principalmente em solos arenosos, que são geralmente pobres em nutrientes.

Uma nutrição equilibrada, proporcionada pela adubação orgânica, foi mais eficaz para se aumentar a eficiência no uso da água do milho, que as reduções na lâmina de irrigação.

O modelo sigmoidal se mostrou eficaz para modelar a dinâmica das características estruturais do milho: comprimento do colmo, diâmetro do colmo, número de folhas vivas, número de folhas mortas e número de folhas totais. Podendo fornecer estratégias e planejamentos para cultivos futuros.

A identificação de padrões comuns de variação das características estruturais de plantas de milho, pode ser feita usando a análise de componentes principais, reduzindo a quantidade de variáveis, sem perdas de informações.

A utilização de águas residuárias na irrigação deve ser empregada em culturas tolerantes a salinidade e associada com práticas de manejo que permitam a lixiviação dos sais do solo, pois sua utilização a longo prazo pode promover a degradação do solo, devido o aporte de sais.

Além de análise física-química da água cinza, deve-se analisar também a água que é captada pela família para seu uso doméstico. Pois os sais e/ou alguns componentes tóxicos da água cinza, podem ser oriundos da fonte da água de captada.

Devem ser realizadas pesquisas para identificar os padrões de variação sazonal da água cinza produzida no Semiárido Nordeste, pois ao longo do ano as famílias captam água de diferentes locais o que pode influenciar na qualidade da água cinza.