

**Inter-relação de técnica de manejo de água e solo aplicadas a cultura do milho: uma
revisão**

Interrelationship of water and soil management techniques applied to millet crops: a review

**Interrelación de las técnicas de gestión del agua y el suelo aplicadas a los cultivos de mijo: una
revisión**

Recebido: 14/05/2020 | Revisado: 14/05/2020 | Aceito: 18/05/2020 | Publicado: 30/05/2020

José Raliuson Inácio Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0483-0514>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: raliuson.agro@gmail.com

Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7094-3635>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: alexandremrfj@gmail.com

Eduardo Soares de Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5488-5284>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: eduardo.souza.rd@gmail.com

Genival Barros Junior

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0042-1633>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: barrosjunior@yahoo.com.br

Mauricio Luiz de Mello Vieira Leite

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4241-241X>

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Brasil

E-mail: nopalea21@yahoo.com.br

Rodolfo Souza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4944-4887>

Universidade de São Paulo, Brasil

E-mail: rsouza@lavabit.com

Antônio Celso Dantas Antonino

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4120-9404>

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

E-mail: acdantonino@gmail.com

Resumo

A agropecuária está enfrentando um grande desafio em todo o mundo, devido à escassez de recursos hídricos. Visando aumentar a disponibilidade hídrica, estudos com água residuária na agricultura têm sido incentivados. Dentre as águas residuais, as águas cinzas são as mais viáveis e seguras, pois possuem menores cargas microbianas. Além disso, a utilização dos recursos hídricos na agricultura, pode ser mais eficiente ao associar a água residuária com outras práticas agrícolas como a redução das lâminas de irrigação, uso de espécies vegetais tolerantes ao déficit hídrico (como a cultura do milheto) e um manejo nutricional equilibrado proporcionado pela adubação orgânica. Dispor do máximo de informações sobre técnicas de cultivo de milheto é essencial para o sucesso da cultura em áreas com baixa disponibilidade hídrica, como a região semiárida brasileira. Assim, objetivou-se com esta revisão apresentar técnicas alternativas de manejo (reuso de água, irrigação por déficit e adubação orgânica) que integradas ao cultivo do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.), visando um incremento de produtividade com uso eficiente da água. Diversas pesquisas foram realizadas em bancos de dados (ScienceDirect, Scopus, Mendeley e Google Scholar) sem restrição de idioma, com literatura de expressiva relevância em Ciências Agrárias. A interação da redução de lâmina de irrigação atrelada a uma adubação orgânica pode ser uma boa alternativa para aumentar a eficiência do uso da água no milheto, e conseqüentemente a sua produção, durante os períodos de estiagem.

Palavras-chave: Águas cinzas; Reuso de água; Adubação orgânica; Estresse hídrico.

Abstract

Agriculture is facing a significant challenge worldwide due to the scarcity of water resources. The water unavailability encouraged several studies on wastewater in agriculture. Among the types of wastewater, greywater can be cited as a more viable and safe alternative, as they have a lower microbial load. Besides, for greater efficiency of water resources, the use of wastewater in agriculture may be associated with other agricultural practices, such as the reduction of irrigation depths, the use of plant species tolerant to water deficit (such as millet cultivation) and balanced nutritional management value provided by organic fertilization.

Most of the information about millet cultivation techniques are essential for success in areas with low water availability, such as the Brazilian semiarid region. Thus, this review aims to present alternative management techniques (water reuse, deficit irrigation, and organic fertilization) that used in association with the millet culture (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) aiming for an increase in productivity with efficient use of water. Several types of research were carried out in databases (ScienceDirect, Scopus, Mendeley, and Google Scholar) without language restriction, with the literature of significant relevance in Agricultural Sciences. The association of reduced irrigation volumes with organic fertilization is an alternative that improves the efficiency of water use in millet and, consequently, its production during the drought periods.

Keywords: Greywaters; Water reuse; Organic fertilization; Water stress.

Resumen

La agricultura se enfrenta a un gran desafío en todo el mundo, debido a la escasez de recursos hídricos. Para aumentar la disponibilidad de agua, se han alentado los estudios sobre aguas residuales en la agricultura. Entre los tipos de aguas residuales, las aguas grises pueden citarse como una alternativa más viable y segura, ya que tienen una menor carga microbiana. Además, para una mayor eficiencia de los recursos hídricos, el uso de aguas residuales en la agricultura puede asociarse con otras prácticas agrícolas, como la reducción de las profundidades de riego, el uso de especies de plantas tolerantes al déficit de agua (como el cultivo de mijo) y la gestión valor nutricional equilibrado proporcionado por la fertilización orgánica. Aprovechar al máximo la información sobre las técnicas de cultivo de mijo es un factor esencial para el éxito en áreas con poca disponibilidad de agua, como la región semiárida brasileña. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión es presentar técnicas alternativas de manejo (reutilización del agua, riego deficitario y fertilización orgánica) que pueden usarse en asociación con el cultivo de mijo (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) un aumento de la productividad con el uso eficiente del agua. Se realizaron varias investigaciones en bases de datos (ScienceDirect, Scopus, Mendeley y Google Scholar) sin restricción de idioma, con literatura de relevancia significativa en Ciencias Agrarias. La interacción de la reducción de la profundidad de riego vinculada a la fertilización orgánica puede ser una buena alternativa para aumentar la eficiencia del uso del agua en el mijo, y una alternativa interesante para la producción de mijo durante la estación seca.

Palabras clave: Aguas grises; Reutilización del agua; Fertilización orgánica; Estrés hídrico.

1. Introdução

O constante aumento da população mundial faz com que a demanda por alimentos aumente 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 (Bigas, 2012), colocam em xeque essa atividade, por comprometer o desenvolvimento das plantas forrageiras. Acarretando assim, em maior exploração de áreas nativas, que poderiam ser preservadas (Medici et al., 2014; Jardim et al., 2020).

Como alternativa de minimizar esses impactos, a irrigação tem surgido como uma estratégia de manejo alternativo, porém torna-se inviável em algumas regiões devido à escassez de água 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; Yawson et al., 2020), acarretando em danos econômicos a diversos setores produtivos do mundo (Yawson et al., 2020). Dessa forma, torna-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 reuso 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 et al., 2014; Egbuikwem et al., 2020). Dentre os tipos de água residuária, destaca-se as águas cinzas, que possuem menos poluentes por não recebe a água da descarga sanitária das residências (Leong et al., 2017; Egbuikwem et al., 2020), conseqüentemente torna-se o tratamento de baixo custo, 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 em ambientes áridos e semiáridos.

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 déficit pode ser definida como, a aplicação de água abaixo dos requisitos para a máxima 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 sob déficit hídrico pode ser vantajoso, uma vez que, quando combinada

com outros fatores (e.g., 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 mesmas possam manter o seu status hídrico.

Contudo, isso acarreta em uma menor absorção de CO₂, contribuindo para menor crescimento da planta, proporcionando menor acúmulo de biomassa, menor assimilação de CO₂, desencadeando redução na velocidade do Ciclo de Calvin, acarretando em excesso de elétrons advindos da parte fotoquímica da fotossíntese, podendo resultar na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) (Silva et al., 2010; Liu et al., 2020).

Assim, torna-se necessário a escolha de espécies mais tolerantes ao estresse hídrico, quando se deseja cultivar sob condições de baixa disponibilidade hídrica, a cultura do 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; Khushdil et al., 2019).

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 têm demonstrado que o milheto se torna mais tolerante a seca, quando cultivado sob o manejo nutricional equilibrado (Uppal et al., 2015), proporcionando melhor rendimento e adaptação às mudanças climáticas (Rezaei et al., 2014).

Os altos custos dos fertilizantes industrializados e seus impactos sobre o meio ambiente, tem levado pesquisadores a buscar novas alternativas, como a adubação orgânica, visto que, além da melhoria das características físicas e de fertilidade do solo, a adubação orgânica promove incrementos na atividade de microrganismos do solo (Vimal et al., 2017).

Dispor do máximo as informações sobre técnicas do cultivo de milheto é um fator essencial para obter sucesso em áreas com baixa disponibilidade hídrica, como a região semiárida brasileira.

Assim, objetivou-se com esta revisão apresenta técnicas alternativas de manejo (reuso de água, irrigação por déficit e adubação orgânica) que podem ser aplicadas a cultura do milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) visando um incremento de produtividade com uso eficiente da água.

2. Metodologia

O presente trabalho embasou-se em uma revisão sistemática de literatura com trabalhos científicos indexados em diversas bases de dados eletrônicas (e.g., ScienceDirect, Scopus, Mendeley e Google Scholar) sem há restrição de idiomas (Pereira et al., 2018), presando materiais com expressiva relevância e qualidade na área de Ciências Agrárias. Para melhor ampliação na busca de trabalhos científicos integrando o material e questão, foram utilizados palavras-chaves e/ou termos de indexação como: milheto, Pennisetum, Semiárido, climate, água, adubação, water, greywater, soil, reuse, agriculture, crop, irrigation, management, organic manure, fertilizers, crop water stress, wastewater, irrigation depth.

3. Revisão de Literatura

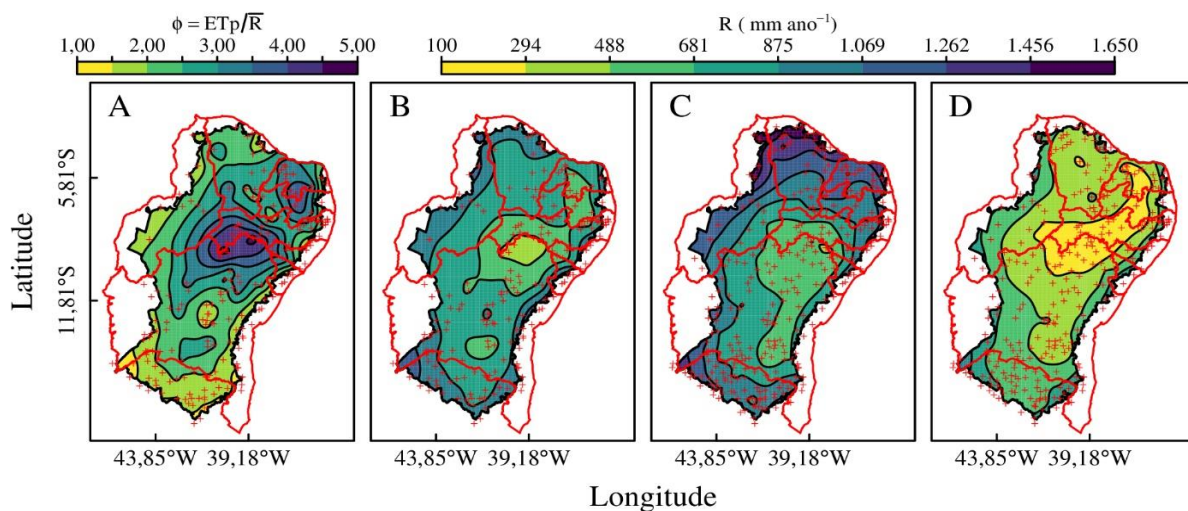
3.1 Escassez hídrica

A maior parte do planeta Terra é coberto por água, contudo, apenas 0,01% desse volume encontrasse disponível em rios, lagos, barragens e demais reservatórios (Brandão et al., 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 às mudanças climáticas, pois provavelmente ocorrerá uma maior demanda atmosférica, reduzindo a quantidade de água disponível para o desenvolvimento das plantas (Bigas, 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 pluviométrica diminui devido às mudanças climáticas (Mashhadi Ali et al., 2017). Apesar da problemática envolvendo há 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 et al., 2016).

Estima-se que quase 80% da população mundial estará exposta a ameaças hídricas (secas e/ou enchentes) e que 65% da área do planeta Terra possa vir a ter problemas hídricos (Vörösmarty et al., 2010). Sendo esse problema mais grave em regiões áridas e semiáridas, pois naturalmente já possuem características de baixa precipitação pluvial e elevada demanda atmosférica (Figura 1). 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., 2018). Esses anos considerados como secos, compromete a recarga dos corpos hídricos (i.e., rios, lagos, barragens, e etc.), por diminuir de forma considerável a recarga dos mesmos (Silva et al., 2017).

Figura 1. Distribuição espacial da relação evapotranspiração potencial (ETp) e chuva média histórica (R) (A), chuva média histórica (B), chuva em 2009 (C) e chuva em 2012 (D), no Semiárido brasileiro.



Fonte: Silva et al. (2017).

A maior parte da produção agropecuária dessa região é dependente das chuvas, assim, é uma região vulnerável às secas atuais, anteriores e futuras (Marengo et al., 2018). Devido a elevada variabilidade temporal das chuvas, torna-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 et al., 2017).

3.2 Reuso de água na agricultura

Os países desenvolvidos reduzem o risco de estiagem com altos investimentos no setor hídrico, chegando a reduzir essas ameaças de risco em até 95% (Vörösmarty et al., 2010). 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; Egbuikwem et al., 2020). A técnica de reutilizar água, pode reduzir significativamente as demandas por água doce e fornecer estratégias sustentáveis de gerenciamento de água, além disso, o reuso apresenta a vantagem de menor gasto energético, quando comparados a outras formas de aumentar a disponibilidade hídrica como a dessalinização e a transferência de água entre bacias (Garcia-Cuerva et al., 2016).

As águas residuárias advindas de sistemas de tratamento, geralmente são utilizadas pela indústria, recarga de aquíferos e uso agrícola (Hespanhol, 2002; Ashekuzzaman et al., 2019). Sendo que para o uso agrícola tem ganhado expressivo destaque, pois diminui o volume de água de boa qualidade consumida por essa atividade e representar uma fonte alternativa de nutrientes (Schaer-Barbosa et al., 2014; Egbuikwem et al., 2020). 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).

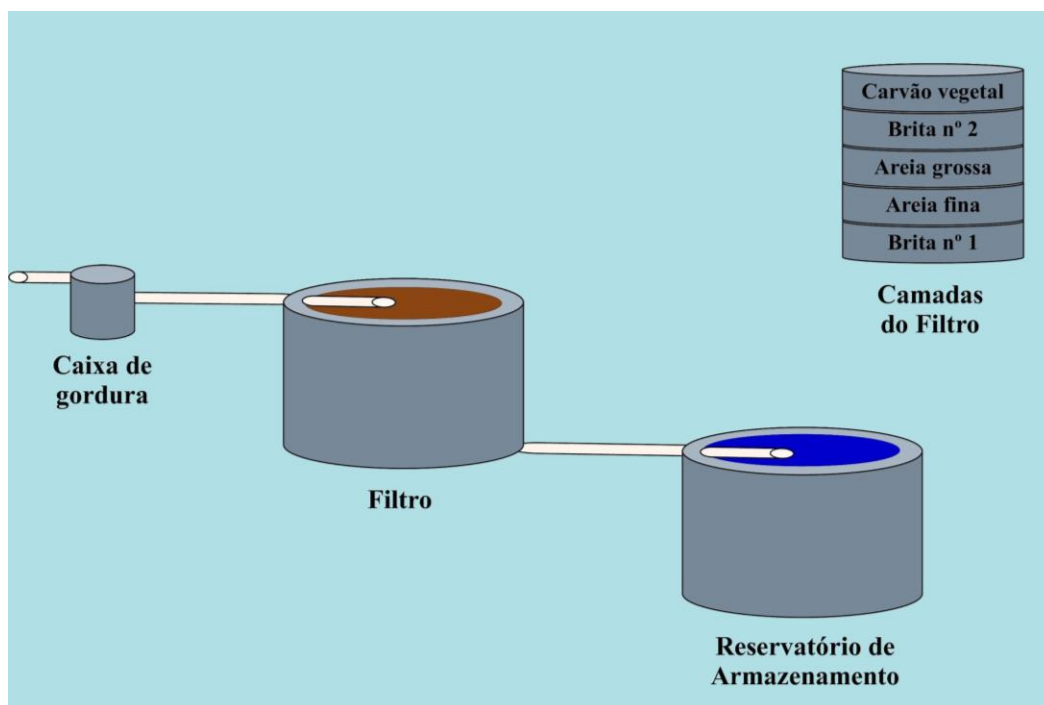
Considerando-se os efeitos deletérios da salinização para a qualidade do solo, torna-se cada vez mais importante monitorar a salinidade, visando melhorar a compreensão da dinâmica e dos processos afetados pela aplicação de águas residuárias (Menezes & Mattos, 2018). A evolução do processo de salinização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

Além disso, o público geralmente opõe-se ao uso de água residuária pois associam à ideia de reciclagem de esgoto, e o receio de que a exposição a essa água seja insegura (Garcia-Cuerva et al., 2016). Essa atitude de rejeição, diminui consideravelmente em regiões com baixa disponibilidade hídrica, como o Semiárido brasileiro, todavia o receio de contaminação dos alimentos permanece (Schaer-Barbosa et al., 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 reuso. Diante dessa situação, sistemas de tratamento que reduzam o máximo possível as cargas de contaminantes na água de reuso, 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 (Figura 2). 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 et al., 2017).

Figura 2. Ilustração do sistema de filtragem de água residuária instalado pela Organização Não Governamental Diaconia em residências rurais no Semiárido pernambucano.



Fonte: Autores.

No entanto, em centros urbanos 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 a responsabilidade 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 et al., 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 reuso 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.

3.3 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, seja em áreas urbanas ou agrícolas (Mashhadi Ali et al., 2017). Todavia, a água é muitas vezes o recurso mais barato para se aumentar a produtividade das culturas (Savic et al., 2011). Contudo, à 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 tem 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; Jardim et al., 2019).

Na maioria das culturas agrícolas, a aplicação de água abaixo dos requisitos hídricos

para máxima produção das culturas, aumenta a eficiência do uso da água (Medici et al., 2014; Li et al., 2018; Lima et al., 2018). Este fato é decorrente, por fornecer quantidades de irrigação abaixo do nível máximo de demanda por água da planta, visando rendimentos praticamente estáveis, permitindo economizar de 20 a 40% da água, acarretando em redução de rendimentos inferiores a 10% a depender da espécie e/ou cultivar (Davies et al., 2011). Se a produção da cultura declina linearmente com déficit hídrico (na mesma proporção ou magnitude), 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 déficit hídrico dependem da quantidade de água perdida por transpiração, da taxa de perda por aplicação e da duração da condição estressante no ambiente (Bray, 1997; Bell et al., 2020). 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 do solo varia com o tipo de cultivar e a fase fenológica da planta, o que torna sua determinação trabalhosa, e em alguns casos onerosa.

Desse modo, nem sempre o cultivo sob déficit hídrico pode ser vantajoso, uma vez que a quantidade de água fornecida é inferior da quantidade de água requerida pela mesma, que quando combinada com outros fatores (i.e., bióticos e abióticos), gerando incertezas sobre a produção (Kögler & Söffker, 2017). Como exemplo, pode-se citar o aumento do déficit 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 proporciona uma maior 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 et al., 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 advindos 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 limita 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 déficit hídrico e do número de eventos estressantes (Barros et al., 2018).

A expansão foliar é considerada mais sensível ao déficit 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 de proteção para convivência com o estresse hídrico (Oliveira et al., 2011). A redução na área foliar proporciona diminuição no fluxo transpiratório das plantas, acarretando em uma menor demanda por água (Taiz & Zeiger, 2013). No entanto, uma menor área foliar influencia significativamente na menor captação total de CO₂ pela planta, apesar que, a condutância estomática pode ser considerada menos sensível ao déficit hídrico, a sua redução limita a fotossíntese gerando danos diretos 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 déficit 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.

3.4 Adubação orgânica como manejo para atenuar os efeitos do déficit hídrico

O cultivo de plantas sob déficit hídrico, além de economizar água, pode reduzir o rendimento das culturas a depender da intensidade, devido à isso, tentar minimizar os efeitos do déficit hídrico com a utilização de algumas técnicas têm sido estudadas, dentre elas a adubação, visto que plantas bem nutridas conseguem um melhor desenvolvimento e/ou otimização no rendimento sob condições de baixa disponibilidade hídrica (Eyshi Rezaei et al., 2014; Zhang et al., 2019). 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 microbiológica do solo, sendo essa última fundamental para o processo de estabilidade do agroecossistemas (Singh et al., 2011). O aumento na atividade microbiológica do solo 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; Jardim et al., 2018). Assim, a atenuação do estresse hídrico pode não ser apenas 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; Jardim et al., 2018).

Dentre os principais adubos orgânicos utilizados na agricultura, pode-se destacar o esterco de animais, por ter a capacidade de aumentar a troca de cátions, reduzir o pH do solo, além dos benefícios físicos e biológicos ao solo (Roussos et al., 2017; Souza et al., 2018). A aplicação de estrume como condicionador de solo, com estirpes microbianas adequadas, pode 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 presentes no estrume sairiam em vantagem, devido a 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 et al., 2005). Além disso, estudo com milho em condições de cultivo de sequeiro têm demonstrado, que a adubação com esterco animal pode elevar o risco do cultivo, uma vez que, a adubação promove um rápido crescimento da parte aérea, que quando submetida à 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).

3.5 A cultura do milho

O milho (*P. glaucum* (L.) R. Br.) é uma planta de ciclo anual do tipo C4, 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 centros de diversidade genética da espécie (Kumar & Niomey, 1989), devido a sua versatilidade, adapta-se a diversas condições extremas de clima e solo (Kumar et al., 2018), favorecendo o seu plantio em diversas regiões do mundo e a sua utilização como base alimentar humana e animal (Dias-Martins et al., 2018).

A cultura foi introduzida 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 e em diversos países de inúmeras 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 plantio direto (Pereira Filho et al., 2003; Kumar et al., 2018).

A espécie *P. glaucum* (Figura 3) é uma gramínea anual de verão, tem crescimento inicial lento, mas depois das primeiras semanas do estágio vegetativo, desenvolve-se rapidamente de forma ereta, podendo superar 3,0 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 torna a planta muito eficiente na absorção de água, carbono e nutrientes, explicando em grande parte a sua tolerância ao estresse hídrico e seu bom desenvolvimento em solos salinos de baixa fertilidade e pH (Aguiar et al., 2012; Kumar et al., 2018). Em suas características morfológicas, existe uma associação entre o aumento do sistema radicular com a produção de grãos, fitomassa e transpiração do milho (Tharanya et al., 2018).

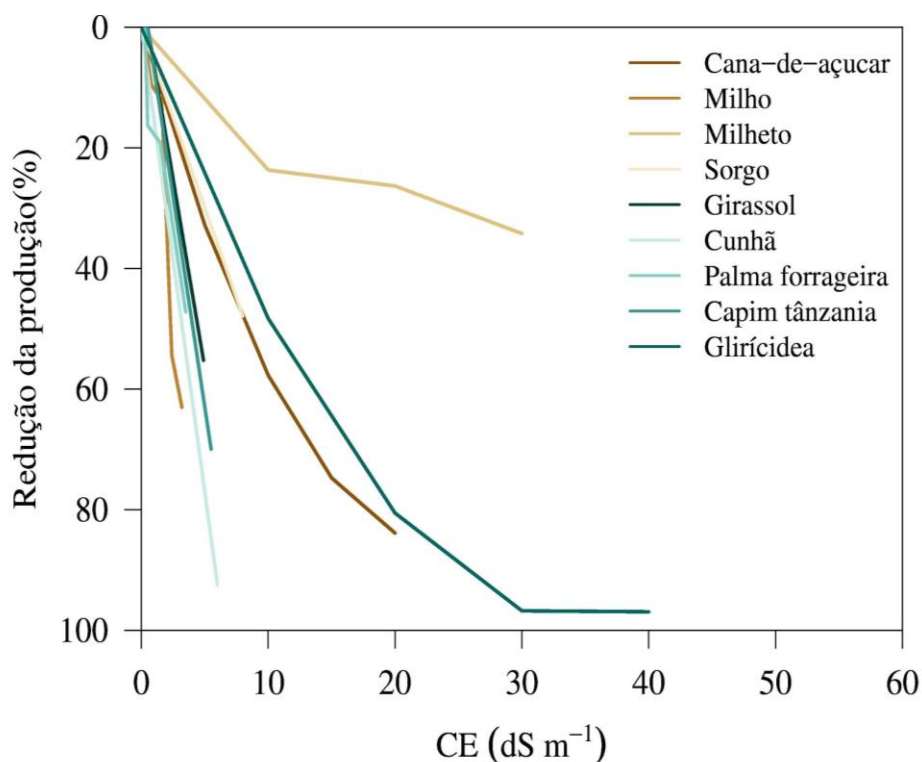
Figura 3. Representa da cultura do milho (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) juntamente com suas estruturas vegetativas e reprodutivas.



Fonte: Dias-Martins et al. (2018).

O milho por ser adaptado às altas temperaturas e déficit hídrico moderado (Nelson et al., 2018), é uma cultura majoritária nas projeções de mudanças climáticas e solos salinos (Kumar et al., 2018). Devido a essas qualidades, vêm tornando-se 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 (Rostanza et al., 2011; Souza et al., 2019). 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-Bulk-1, que além de ser tolerante ao déficit hídrico moderado, apresenta alta qualidade de forragem e aceitabilidade dos animais (Santos et al., 2017). Todavia, os efeitos do estresse hídrico sobre o milho são intrínsecos de fatores como manejo e sistema de irrigação utilizado no cultivo (Ismail et al., 2018), além disso, esta espécie é uma das plantas forrageiras mais tolerantes ao estresse salino (Figura 4) (Silva et al., 2018).

Figura 4. Redução no ganho de fitomassa seca de plantas forrageiras sob diferentes níveis de estresse salino.



Fonte: Silva et al. (2018).

4. Considerações Finais

A interação da redução de lâmina de irrigação atrelada a uma adubação orgânica pode ser uma boa alternativa viável para minimizar os efeitos do estresse hídrico para aumentar a eficiência do uso da água no milho.

A irrigação com água residuária é uma alternativa interessante para produção de milho durante o período de estiagem, mesmo que esta água tenha uma salinidade elevada, pois o milho mostra-se tolerante a salinidade.

A associação entre diversas práticas de manejo (redução de lâmina de irrigação, adubação orgânica, reúso de água, cultivo de espécies tolerante a estresses abióticos) é a melhor forma para se produzir em regiões com baixa disponibilidade hídrica.

Com base nas informações apresentadas nesta revisão, a utilização da cultura do milho tem sido muito difundida em diversas regiões do mundo, e tecnologias como adubação orgânica com esterco e utilização de águas domésticas auxiliam no estabelecimento

da cultura em regiões com baixas alternativas hídricas, favorecendo essa cultura que possui expressivas importâncias no setor agropecuário.

Contudo, mais pesquisas são necessárias sob condições de campo para confirmar as hipóteses levantadas neste trabalho. Além disso, mais pesquisas sobre o manejo desta cultura pode favorecer ainda mais a difusão da mesma no semiárido brasileiro.

Referências

Abreu Júnior, C. H., Boaretto, A. E., Muraoka, T., & Castro Kiehl, J. (2005). Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: Propriedades químicas do solo e produção vegetal. *Tópicos em Ciência do Solo*, 4, 391-470.

Affholder, F. (1995). Effect of organic matter input on the water balance and yield of millet under tropical dryland condition. *Field Crops Research*, 41(2), 109–121.
[https://doi.org/10.1016/0378-4290\(94\)00115-S](https://doi.org/10.1016/0378-4290(94)00115-S)

Aguiar, A. A.S., Matias, S. S. R., Souza, R. R., Silva, R. L., & Nobrega, J. C. A. (2012). Desenvolvimento do milheto sob adubação orgânica no município de Corrente-PI. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 7(4), 90-96.

Albuquerque, F. S., Silva, Ê. F. F., Lopes, P. M. O., Moura, G. B. A., & Silva, A. O. (2018). Condições hídricas e crescimento vegetal de culturas agrícolas importantes para comunidades indígenas do semiárido brasileiro. *Revista Ceres*, 65(2), 111-119.
<http://dx.doi.org/10.1590/0034-737x201865020001>

Ashekuzzaman, S. M., Forrestal, P., Richards, K., & Fenton, O. (2019). Dairy industry derived wastewater treatment sludge: Generation, type and characterization of nutrients and metals for agricultural reuse. *Journal of Cleaner Production*, 230, 1266-1275.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.025>

Barros, V., Frosi, G., Santos, M., Ramos, D. G., Falcão, H. M., & Santos, M. G. (2018). 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*, 127, 469-477. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.04.016>

- Bell, J. M., Schwartz, R. C., McInnes, K. J., Howell, T. A., & Morgan, C. L. (2020). Effects of irrigation level and timing on profile soil water use by grain sorghum. *Agricultural Water Management*, 232, 106030. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106030>
- Bertoncini, E. I. (2008). Tratamento de efluentes e reuso da água no meio agrícola. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária*, 1(1), 152-169.
- Bigas, H. (2012). *The Global Water Crisis: Addressing an Urgent Security Issue*. Hamilton: United Nations University – Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH).
- Brandão, M., Carlos, B., & Lima, E. P. (2014). Reuso de água na agricultura. 1.ed. Brasília: Embrapa.
- Bray, E. A. (1997). Plant responses to water deficit. *Trends in Plant Science*, 2(2), 48-54. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(97\)82562-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)82562-9)
- Brunken, A. V. (1977). A systematic study of *Pennisetum* sect. *Pennisetum* (Gramineae). *American Journal of Botany*, 64(2), 161-176. <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1977.tb15715.x>
- Christofidis, D. (2006). Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. *Revista de Ciências Exatas*, 12(1), 37–46.
- Cirilo, J. A., Montenegro, S. M. G. L., & Campos, J. N. B. (2017). *The Issue of Water in the Brazilian Semi-Arid Region*. In: de Mattos Bicudo C., Galizia Tundisi J., Cortesão Barnsley Scheuenstuhl M. (eds) *Waters of Brazil*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-41372-3_5
- Comas, L. H., Trout, T. J., DeJonge, K. C., Zhang, H., & Gleason, S. M. (2019). Water productivity under strategic growth stage-based deficit irrigation in maize. *Agricultural Water Management*, 212, 433-440. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.07.015>

Davies, W. J., Zhang, J., Yang, J., & Dodd, I. C. (2011). Novel crop science to improve yield and resource use efficiency in water-limited agriculture. *The Journal of Agricultural Science*, 149(1), 123-131. <https://doi.org/10.1017/S0021859610001115>

Dias-Martins, A. M., Pessanha, K. L. F., Pacheco, S., Rodrigues, J. A. S., & Carvalho, C. W. P. (2018). Potential use of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) in Brazil: Food security, processing, health benefits and nutritional products. *Food Research International*, 109, 175-186. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.04.023>

Egbuikwem, P. N., Mierzwa, J. C., & Saroj, D. P. (2020). Assessment of suspended growth biological process for treatment and reuse of mixed wastewater for irrigation of edible crops under hydroponic conditions. *Agricultural Water Management*, 231, 106034. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106034>

Erel, R., Eppel, A., Yermiyahu, U., Ben-Gal, A., Levy, G., Zipori, I., Schaumann, G. E., Mayer, O., & Dag, A. (2019). Long-term irrigation with reclaimed wastewater: Implications on nutrient management, soil chemistry and olive (*Olea europaea* L.) performance. *Agricultural Water Management*, 213, 324-335. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.033>

Eyshi Rezaei, E., Gaiser, T., Siebert, S., Sultan, B., & Ewert, F. (2014). Combined impacts of climate and nutrient fertilization on yields of pearl millet in Niger. *European Journal of Agronomy*, 55, 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.02.001>

Garcia-Cuerva, L., Berglund, E. Z., & Binder, A. R. (2016). Public perceptions of water shortages, conservation behaviors, and support for water reuse in the U.S. *Resources, Conservation and Recycling*, 113, 106-115. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.006>

Hespanhol, I. (2002). Potencial de Reuso de Águas no Brasil: Agricultura, Municípios, Recarga de Aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7(4), 75-95.

Instituto Nacional do Semiárido – INSA (2012). *Sinopse do censo demográfico para o semiárido brasileiro*. Campina Grande-PB, 107p.

Ismail, S. M., El-Nakhlawy, F. S., & Basahi, J. M. (2018). Sudan grass and pearl millets productivity under different irrigation methods with fully irrigation and stresses in arid regions. *Grassland Science*, 64(1), 29-39. <https://doi.org/10.1111/grs.12179>

Jardim, A. M. R. F., Silva, J. R. I., Leite, M. L. M. V., Teixeira, V. I., Morato, R. P., Araújo Júnior, G. N., & Silva, T. G. F. (2018). Symbiotic interaction in forage crop cultivations: A review. *Amazonian Journal of Plant Research*, 2(1), 149-160.
<https://doi.org/10.26545/ajpr.2018.b00019x>

Jardim, A. M. R. F., Silva, J. R. I., Silva, M. J., Araújo Júnior, G. N. A., Souza, R., & Souza, E. S. (2020). Modelagem da perda de solo por erosão hídrica em Planossolo Háplico. *Brazilian Journal of Development*, 6(2), 6826-6834. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n2-107>

Jardim, A. M. R. F., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Alves, H. K. M. N., Araújo, J. F. N., Silva, G. I. N., & Silva, J. O. N. (2019). Dinâmica da água no solo com cultivo de palma forrageira sob quatro sistemas de plantio. *Agrometeoros*, 27(2), 357-365.
<http://dx.doi.org/10.31062/agrom.v27i2.26446>

Jong van Lier, Q. (2010). *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, 298p.

Kaushal, M., & Wani, S. P. (2016). Rhizobacterial-plant interactions: strategies ensuring plant growth promotion under drought and salinity stress. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 231, 68-78. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.031>

Khushdil, F., Jan, F. G., Jan, G., Hamayun, M., Iqbal, A., Hussain, A., & Bibi, N. (2019). Salt stress alleviation in *Pennisetum glaucum* through secondary metabolites modulation by *Aspergillus terreus*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 144, 127-134.
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.09.038>

Kögler, F., & Söffker, D. (2017). Water (stress) models and deficit irrigation: System-theoretical description and causality mapping. *Ecological Modelling*, 361, 135-156.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.07.031>

Kumar, K. A. (1989). Pearl millet: current status and future potential. *Outlook on Agriculture*, 18(2), 46-53. <https://doi.org/10.1177/003072708901800201>

Kumar, S., Hash, C. T., Nepolean, T., Mahendrakar, M. D., Satyavathi, C. T., Singh, G., Rathore, A., Yadav, R. S., Gupta, R., & Srivastava, R. K. (2018). Mapping grain iron and zinc content quantitative trait loci in an inbred-derived immortal population of pearl millet. *Genes*, 9(5), 248. <https://doi.org/10.3390/genes9050248>

Leong, J. Y. C., Oh, K. S., Poh, P. E., & Chong, M. N. (2017). Prospects of hybrid rainwater-greywater decentralised system for water recycling and reuse: A review. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3014-3027. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.167>

Li, X., Kang, S., Zhang, X., Li, F., & Lu, H. (2018). Deficit irrigation provokes more pronounced responses of maize photosynthesis and water productivity to elevated CO₂. *Agricultural Water Management*, 195, 71-83. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.09.017>

Lima, L. R., Silva, T. G. F., Jardim, A. M. R. F., Souza, C. A. A., Queiroz, M. G., & Tabosa, J. N. (2018). Growth, water use and efficiency of forage cactus sorghum intercropping under different water depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(2), 113-118. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n2p113-118>

Liu, F., Fu, X., Wu, G., Feng, Y., Li, F., Bi, H., & Ai, X. (2020). Hydrogen peroxide is involved in hydrogen sulfide-induced carbon assimilation and photoprotection in cucumber seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 175, 104052. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104052>

Loy, S., Assi, A. T., Mohtar, R. H., Morgan, C., & Jantrania, A. (2018). The effect of municipal treated wastewater on the water holding properties of a clayey, calcareous soil. *Science of The Total Environment*, 643, 807-818. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.104>

Marengo, J. A., Alves, L. M., Alvala, R., Cunha, A. P., Brito, S., & Moraes, O. L. (2018). Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region.

Anais da Academia Brasileira de Ciências, 90(2), 1973-1985. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170206>

Mashhadi Ali, A., Shafiee, M. E., & Berglund, E. Z. (2017). Agent-based modeling to simulate the dynamics of urban water supply: Climate, population growth, and water shortages. *Sustainable Cities and Society*, 28, 420–434.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.10.001>

Medici, L. O., Reinert, F., Carvalho, D. F., Kozak, M., & Azevedo, R. A. (2014). What about keeping plants well watered?. *Environmental and Experimental Botany*, 99, 38-42.

<https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.10.019>

Menezes, L. A. N., & Mattos, A. T. (2018). Condutividade elétrica do solo em função da dose de aplicação de água residuária em áreas de fertirrigação. *Revista Engenharia na Agricultura*, 26(4), 383–389. <https://doi.org/10.13083/reveng.v26i4.956>

Munns, R., James, R. A., Sirault, X. R., Furbank, R. T., & Jones, H. G. (2010). New phenotyping methods for screening wheat and barley for beneficial responses to water deficit. *Journal of Experimental Botany*, 61(13), 3499-3507. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq199>

Nelson, W. C. D., Hoffmann, M. P., Vadez, V., Roetter, R. P., & Whitbread, A. M. (2018). Testing pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. *Field Crops Research*, 217, 150-166. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.014>

Oliveira, A. M., da Silva Dias, N., de Sousa Gurgel, G. C., Rabelo, L. N., Souza Melo, M. R., & Santos, M. V. (2018). Impactos físico-químicos do descarte de rejeito salino em Neossolo e Chernossolo do oeste Potiguar, Brasil. *Revista Irriga*, 23(3), 413–425.

<http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2018v23n3p413-425>

Oliveira, F. A., Carrilho, M. J. O. S., Medeiros, J. F., Maracajá, P. B., & Oliveira, M. K. (2011). Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 15(8), 771-777.

<https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000800002>

Pereira Filho, I. A., Ferreira, A. S., Coelho, A. M., Casela, C. R., Karam, D., Rodrigues, J. A. S., Cruz, J. C., & Waquil, J. M. (2003). *Manejo da cultura do milho*. Sete Lagoas, MG: Empresa brasileira de pesquisa agropecuária – EMBRAPA-CNPMS. (Circular Técnica, 28).

Disponível em:

<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2003/circular/Circ_29.pdf>. Acesso em: 12 janeiro 2020.

Pereira, A. S., Shitsuka, D. M., Parreira, F. J., & Shitsuka, R. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [e-book]. Santa Maria. Ed. UAB/NTE/UFSM. Disponível em: https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/15824/Lic_Computacao_MetodologiaPesquisa-Cientifica.pdf?sequence=1. Acesso em: 10 maio 2020.

Rebouças, J. R. L., Dias, N. S., Gonzaga, M. I. S., Gheyi, H. R., & Sousa Neto, O. N. (2010). Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. *Revista Caatinga*, 23(1), 97-102.

Rezaei, E. E., Gaiser, T., Siebert, S., Sultan, B., & Ewert, F. (2014). Combined impacts of climate and nutrient fertilization on yields of pearl millet in Niger. *European Journal of Agronomy*, 55, 77-88. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.02.001>

Rostamza, M., Chaichi, M. R., Jahansouz, M. R., & Alimadadi, A. (2011). 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*, 98(10), 1607-1614. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.05.014>

Roussos, P. A., Gasparatos, D., Kechrologou, K., Katsenos, P., & Bouchagier, P. (2017). 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*, 220, 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.019>

Santos, D. P., Santos, C. S., Silva, L. M., Santos, M. A. L., & Santos, C. G. (2018). Performance of methods for estimation of table beet water requirement in Alagoas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22(3), 189-193. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v22n3p189-193>

Santos, R., Neves, A. L., Pereira, L. G., Verneque, R., Costa, C. T., Tabosa, J., Scherer, C., & Gonçalves, L. (2017). Divergence in agronomic traits and performance of pearl millet cultivars in Brazilian semiarid region. *Grassland Science*, 63(2), 118-127.

<https://doi.org/10.1111/grs.12154>

Savic, S., Stikic, R., Zaric, V., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Marjanovic, M., Djordjevic, S., & Petkovic, D. (2011). Deficit irrigation technique for reducing water use of tomato under polytunnel conditions. *Journal of Central European Agriculture*, 12(4), 590-600. <https://doi.org/10.5513/JCEA01/12.4.960>

Schaer-Barbosa, M., Santos, M. E. P. D., & Medeiros, Y. D. P. (2014). Viabilidade do reúso de água como elemento mitigador dos efeitos da seca no semiárido da Bahia. *Ambiente & Sociedade*, 17(2), 17-32. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2014000200003>

Silva, C. L., Bassi, N. S. S., & Rocha Junior, W. F. (2016). Technologies for rational water use in Brazilian agriculture. *Revista Ambiente & Água*, 11(2), 239-249.

<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1808>

Silva, E. N., Ribeiro, R. V., Ferreira-Silva, S. L., Viégas, R. A., & Silveira, J. A. G. (2010). Comparative effects of salinity and water stress on photosynthesis, water relations and growth of *Jatropha curcas* plants. *Journal of Arid Environments*, 74(10), 1130-1137.

<https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2010.05.036>

Silva, J. R. I., Jardim, A. M. R. F., Barroso Neto, J., Leite, M. L. M. V., & Teixeira, V. I. (2018). Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras. *Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science*, 11(3), 127-139.

<http://dx.doi.org/10.5935/PAeT.V11.N3.13>

Silva, J. R. I., Souza, R. M. S., Santos, W. A., Almeida, A. Q., Souza, E. S., & Antonino, A. C. D. (2017). Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. *Scientia Plena*, 13(10), 109908.

<http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2017.109908>

Sinclair, T. R., Devi, J., Shekoofa, A., Choudhary, S., Sadok, W., Vadez, V., Riar, M., & Rufty, T. (2017). Limited-transpiration response to high vapor pressure deficit in crop species. *Plant Science*, 260, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.04.007>

Singh, J. S., Pandey, V. C., & Singh, D. P. (2011). Efficient soil microorganisms: a new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 140(3-4), 339-353. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.01.017>

Sotero, A. R. H., Karla, M., de Oliveira, T., & Batista, R. O. (2018). Bromatological analysis of millet cv. Ceará (*Pennisetum glaucum*) irrigated with treated gray water dilutions in well water. *International Journal of Hydrology*, 2(5), 637-641. <https://doi.org/10.15406/ijh.2018.02.00136>

Souza, M. S., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Silva, J. R. I., Leite, M. L. M. V., Teixeira, V. I., & Silva, T. G. F. (2018). Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de pastagens tropicais. *PUBVET*, 12(5), 1-9. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v12n5a91.1-9>

Souza, M. S., Silva, T. G. F., Souza, L. S. B., Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., & Alves, H. K. M. N. (2019). Practices for the improvement of the agricultural resilience of the forage production in semiarid environment: a review. *Amazonian Journal of Plant Research*, 3(4), 417-430. <https://doi.org/10.26545/ajpr.2019.b00051x>

Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., & Fereres, E. (2009). AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3), 426-437. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0139s>

Stedule, E., & Peterson, C. A. (1998). How does water get through roots?. *Journal of Experimental Botany*, 49(322), 775-788. <https://doi.org/10.1093/jxb/49.322.775>

Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. 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 janeiro de 2019.

- Taiz, L., & Zeiger, E. (2013). *Fisiologia Vegetal*. 5ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.
- Tharanya, M., Kholova, J., Sivasakthi, K., Seghal, D., Hash, C. T., Raj, B., Srivastava, R. K., Baddam, R., Thirunalasundari, T., Yadav, R., & Vadez, V. (2018). 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*, 131(7), 1509-1529. <https://doi.org/10.1007/s00122-018-3094-6>
- Unkovich, M., Baldock, J., & Farquharson, R. (2018). Field measurements of bare soil evaporation and crop transpiration, and transpiration efficiency, for rainfed grain crops in Australia – A review. *Agricultural Water Management*, 205, 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.016>
- Uppal, R. K., Wani, S. P., Garg, K. K., & Alagarswamy, G. (2015). Balanced nutrition increases yield of pearl millet under drought. *Field Crops Research*, 177, 86-97. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.006>
- Vimal, S. R., Singh, J. S., Arora, N. K., & Singh, S. (2017). Soil-plant-microbe interactions in stressed agriculture management: a review. *Pedosphere*, 27(2), 177-192. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(17\)60309-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(17)60309-6)
- Vörösmarty, C. J., McIntyre, P. B., Gessner, M. O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S. E., Sullivan, C. A., Liermann, C. R., & Davies, P. M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature*, 467(7315), 555-561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Yawson, D. O., Mohan, S., Armah, F. A., Ball, T., Mulholland, B., Adu, M. O., & White, P. J. (2020). Virtual water flows under projected climate, land use and population change: the case of UK feed barley and meat. *Heliyon*, 6(1), e03127. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e03127>
- Zhang, Y., Wang, R., Wang, H., Wang, S., Wang, X., & Li, J. (2019). Soil water use and crop yield increase under different long-term fertilization practices incorporated with two-year

tillage rotations. *Agricultural Water Management*, 221, 362-370.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.04.018>

Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito

José Raliuson Inácio Silva – 30%

Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz Jardim – 15%

Eduardo Soares de Souza – 15%

Genival Barros Junior – 10%

Maurício Mello Vieira Leite – 10%

Rodolfo Souza – 10%

Antônio Celso Dantas Antonino – 10%