

Revisão Bibliográfica

Estresse salino como desafio para produção de plantas forrageiras

Resumo

O aumento da população mundial tem impulsionado os diversos setores agrícolas, como a pecuária. Contudo, devido as mudanças climáticas previstas e a consequente escassez de água em algumas regiões, essa atividade torna-se de alto risco, sendo a irrigação uma alternativa promissora para manutenção da produção de alimentos. Apesar disso, a irrigação não pode ser realizada em muitas localidades, devido à ausência de água de boa qualidade, o que leva os produtores a utilizarem água salina para irrigação das plantas forrageiras. O uso de água salina proporciona diversos distúrbios sobre o solo e a planta, causando estresse salino, sendo esse um dos estresses abióticos que mais causa redução na produtividade de diversas culturas. Diante do contexto, esta revisão apresenta as implicações da produção de plantas forrageiras em ambientes salinos, os processos de formação do estresse salino, bem como as formas de manejo que permitam o cultivo com água salina e em solos afetados por sais.

Palavras-chave: águas de qualidade inferior, irrigação de pastagens, salinidade, manejo de água salina.

Abstract

Saline stress as challenge to forage plant production

The increase on world population has been boosting several agriculture sectors as livestock. However, this activity becomes high risk due to foresee climate changes and consequent water scarcity in some regions, being irrigation a promising alternative to the maintenance of food production. Despite that, irrigation can not be realized in several places because absence of good-quality water, leading producers to use saline water in irrigation of forage plants. The use of saline water causes many disturbances on the soil and in the plants, causing saline stress, that is one of the abiotic stress that cause more productivity reduction in many plants. In this context, this review shows implications of forage plants production on saline environments, process of generation of saline stress as well management ways that allows the production with saline water and in soil affected by salt.

Key words: photosynthetic metabolism, carbon dioxide, climate change.

Resumen

Estrés salino como desafío para la producción de plantas forrageiras

El aumento de la población mundial ha impulsado a los diversos sectores agrícolas, como la ganadería. Sin embargo, debido al cambio climático previsto y la consiguiente escasez de agua en algunas regiones, esta actividad se vuelve de alto riesgo, siendo la irrigación una alternativa prometedora para el mantenimiento de la producción de alimentos. A pesar de ello, la irrigación no puede realizarse en muchas localidades, debido a la ausencia de agua de buena calidad, lo que lleva a los productores a utilizar agua salina para irrigación

Received at: 27/01/2018

Accepted for publication at: 18/07/2018

¹ Eng. Agrônomo. Mestrando em Produção Vegetal. Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE - Avenida Gregório Ferraz Nogueira, Serra Talhada-PE. E-mail: raliuson.agro@gmail.com; alexandremrfj@gmail.com; jnetobarroso@gmail.com

² Eng. Agrônomo. Dr. Prof. Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE - Avenida Gregório Ferraz Nogueira, Serra Talhada-PE. E-mail: nopalea21@yahoo.com.br; vicente_ufrpe@hotmail.com

de las plantas forrajeras. El uso de agua salina proporciona diversos disturbios sobre el suelo y la planta, causando estrés salino, siendo éste uno de los estrés abióticos que más causa reducción en la productividad de diversas culturas. En el contexto, esta revisión presenta las implicaciones de la producción de plantas forrajeras en ambientes salinos, los procesos de formación del estrés salino, así como las formas de manejo que permitan el cultivo con agua salina y en suelos afectados por sales.

Palabras clave: aguas de calidad inferior, riego de pasturas, salinidad, manejo de agua salina.

Introdução

Diante dos cenários de mudanças climáticas, aumento da demanda atmosférica por água e alterações no padrão espaço-temporal das chuvas, a agropecuária é colocada em cheque, pois além de comprometer a recarga dos corpos hídricos (SILVA et al., 2017), essas condições prejudicam o desenvolvimento das plantas forrageiras devido à ausência de água suficiente para o crescimento regular das plantas desses vegetais.

Para minimizar os impactos causados pelas mudanças nos padrões de chuva, a irrigação tem surgido como uma estratégia de manejo, porém tem sido inviável em algumas regiões, devido à escassez e qualidade dos recursos hídricos. Isso tem levado muitos produtores a utilizar água de qualidade inferior para a irrigação das culturas como, por exemplo, as águas salinas de poços e de drenagem agrícola, a água residual de esgoto doméstico tratado e a salmoura de estações de tratamentos de águas salobras. No entanto, a utilização dessas águas aumenta os problemas de salinização do solo, que já está presente em cerca de 6% das extensões territoriais do planeta (FAO, 2008).

O acúmulo de sais no solo, ocasionado por irrigação com águas de qualidade inferior, promove um ambiente desfavorável para o desenvolvimento das plantas, resultando no que se conhece por estresse salino, que altera de forma negativa o crescimento das culturas (MUNNS e TESTER, 2008). Além do impacto sobre o desenvolvimento vegetal, as águas salinas promovem danos sérios a estrutura, a química e a microbiota do solo, podendo muitas vezes deixar as áreas em questão impróprias para produção agrícola (SUN et al., 2012). Esses problemas são potencializados nas áreas de produção de baixo nível tecnológico e em regiões áridas e semiáridas, pois ocorre o predomínio do uso indiscriminado

da irrigação, fertilizantes e outros insumos, que em associação com drenagem deficitária são as principais causas de salinização dos solos (MOREIRA BARRADAS et al., 2015).

Nessa revisão, objetivou-se apresentar as implicações de ambientes salinos sobre a produção de plantas forrageiras bem como, os processos de formação do estresse salino, além de discutir formas de manejo que permitam o cultivo com água salina e em solos afetados por sais.

Desenvolvimento

Formação e características do estresse salino

Os estresses bióticos e abióticos são as principais causas na redução do desempenho produtivo das espécies cultivadas. Segundo Levitt (1972) estresse pode ser definido como qualquer fator potencialmente desfavorável aos organismos vivos. Esse tema é tão preocupante, que alguns pesquisadores vem analisando a possibilidade de uma segunda revolução verde, que diferente da anterior, vai focar no aumento e/ou manutenção dos rendimentos das culturas expostas aos estresses abióticos (COMINELLI et al., 2013).

Dentre os diversos estresses que as plantas estão impostas, o estresse salino é um dos principais contribuintes para redução da produtividade em áreas agrícolas. De uma forma geral, pode-se dividir o estresse salino em duas fases (MUNNS e TESTER, 2008), sendo a primeira relacionada a questão osmótica, onde o acúmulo dos sais no solo promove redução no potencial hídrico do solo, induzindo a planta a gastar mais energia para continuar absorvendo água e/ou realizar o fechamento estomático para manutenção do status hídrico, contudo, nesta última ocorrerá limitações na absorção de CO_2 , o que pode contribuir para

redução da atividade fotossintética, ocasionado menor crescimento da planta, além de um maior estresse térmico devido a redução da transpiração. A segunda fase, pode ser definida como iônica, pois ocorre a partir do acúmulo dos íons salinos no tecido vegetal, causando intoxicação e conseqüentemente morte dos tecidos vegetais. Assim, o estresse salino é iniciado pelo acúmulo de sais no solo, processo denominado de salinização.

A salinização do solo pode ser classificada em dois grupos, salinização primária que ocorre de forma natural, pela ação do intemperismo (material de origem), ascensão do lençol freático, invasão do mar próximo as áreas costeiras e demanda atmosférica por água muito superior a precipitação pluvial.

Já a salinização secundária, ocorre pela ação antrópica, pelo uso indiscriminado da irrigação, fertilizantes e outros insumos, que em associação com drenagem deficitária são as principais causas de salinização de solos (MOREIRA BARRADAS et al., 2015). A água de irrigação com elevado teores de sais é fator predominante para salinização dos solos, contudo, problemas moderados relacionados à salinidade são observados mesmo quando se utiliza água com baixos teores de sais (SUN et al., 2012).

A salinidade do solo sofre variação espaço-temporal (BENNETT; BARRETT-LENNARD e COLMER, 2009), onde cerca de 6% das terras do mundo (400 milhões de ha) já se encontram com problemas de acúmulo de sais (FAO, 2008). Problemas como estes são mais graves em regiões áridas e semiáridas, onde a baixa disponibilidade hídrica induz a utilização de irrigação com água de qualidade inferior, que associada as características de solo (restrição a lixiviação dos sais) e clima (baixa precipitação pluvial e elevada demanda atmosférica

por água) tornam essas áreas extremamente propícias a salinização (DALIAKOPOULOS et al., 2016).

Efeitos dos sais sobre as plantas e solo

São inúmeros os efeitos dos sais sobre as plantas, sejam eles diretos ou indiretos. O primeiro efeito seria a redução do potencial de água do solo, uma vez que, a medida que se adiciona água salina ao solo, o potencial osmótico passa de desprezível para compor uma fração considerável do potencial total de água no solo (DUARTE e SOUZA, 2016). Diante dessa condição, as plantas respondem, primeiramente, realizando ajustamento osmótico, para que as raízes possam continuar a absorção de água. Esse ajustamento ocorre pelo acúmulo de prolina, carboidratos solúveis, entre outros compostos solúveis compatíveis no tecido vegetal (RODRÍGUEZ et al., 2010). Por meio desse acúmulo, as plantas conseguem deixar o seu potencial hídrico menor que o do solo possibilitando a absorção de água, contudo, as plantas têm um gasto excessivo de energia para realização desse ajuste.

A outra forma de resposta das plantas ao estresse salino é por meio do fechamento estomático, que por diminuir a transpiração mantém o status hídrico da planta (TAIZ et al., 2017). No entanto, o fechamento estomático induz a uma redução na assimilação de CO₂ (Figura 1) e conseqüentemente menor crescimento da planta. Além do menor acúmulo de biomassa, a menor assimilação de CO₂ promove redução na velocidade do Ciclo de Calvin (pois menos CO₂ entra no mesófilo foliar), acarretando em uma sobra de elétrons oriundos da parte fotoquímica da fotossíntese, podendo resultar na produção de espécies reativas de oxigênio (EROs), já que os elétrons livres se ligarão ao oxigênio (SILVA et al., 2010).

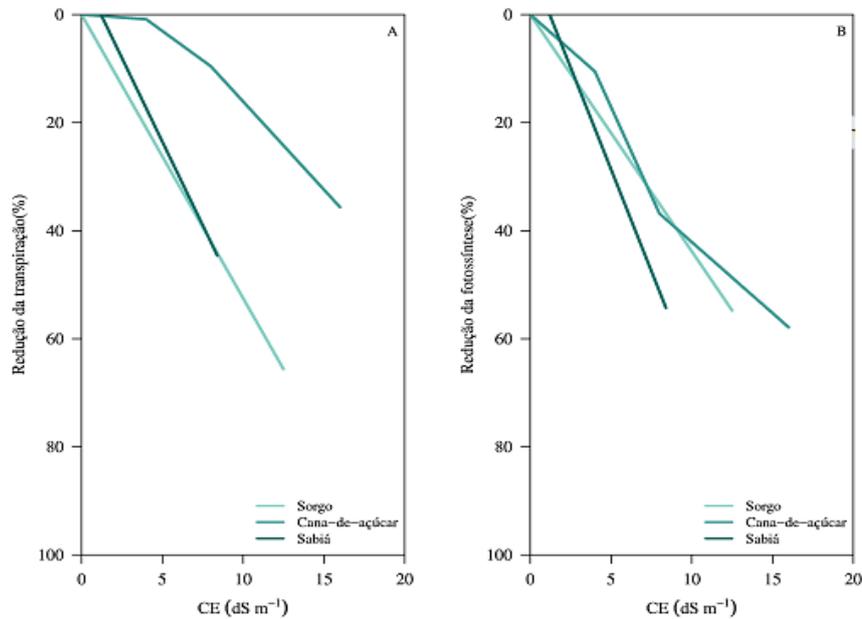


Figura 1. Redução da transpiração (A) e assimilação líquida de CO₂ (B) em algumas espécies forrageiras: sorgo (COELHO et al., 2018), cana-de-açúcar (CHICONATO, 2016) e sabiá (BESSA et al., 2017).

A redução do fluxo transpiratório também poderá limitar a absorção de nutrientes em consequência do comprometimento da principal via (apoplástica) de transporte de água e nutrientes de forma passiva na planta, dependendo exclusivamente do gradiente hidráulico gerado pelo processo de transpiração (STEUDLE e PETERSON, 1998).

Os íons salinos ao serem absorvidos estão dissolvidos em água, porém a água é perdida pelo processo de transpiração e os íons vão se acumulando nas folhas, em consequência de não fazerem parte dos processos metabólicos da planta, podendo com este acúmulo causar toxicidade aos tecidos. A intensidade da toxicidade irá depender do nível de tolerância da planta, tempo de exposição e quais íons estão sendo acumulados (sódio, cloreto, boro, etc.), sendo que o principal sintoma relatado é a necrose do ápice e borda de folhas mais velhas (DIAS et al., 2016). Além do efeito tóxico, a salinidade promove um desbalanço nutricional através da competição entre os íons de sódio com potássio e cálcio (GARCIA et al., 2007). O potássio é inibido pelo sódio, devido a relação competitiva entre cátions monovalentes (KAWASAKI et al., 1983). Já o cálcio é deslocado

pelo sódio do plasmalema das células radiculares (GARCIA et al., 2007). Ademais, trabalhos têm mostrado que a irrigação com água salina em plantas de milho também reduziu a absorção de fósforo e magnésio (SOUSA et al., 2010).

Os efeitos descritos acima promovem redução significativa do rendimento de várias plantas forrageiras (Figura 2). Sendo que a intensidade da redução vai depender principalmente da espécie e do nível de salinidade em que elas estão submetidas.

Os impactos dos sais sobre o solo são tão graves quanto na planta. No entanto, a salinidade pode proporcionar melhoria na infiltração de água (BERTOSSI, 2013), devido a uma melhor estruturação do solo. Isso ocorre pois o cálcio presente nas águas salinas favorece a flocculação das argilas e formação de agregados estáveis (ALMEIDA NETO et al., 2009). Todavia, quando o sódio está presente em maiores proporções do que o cálcio e o magnésio, a estrutura do solo pode ser comprometida, uma vez que o sódio causa dispersão das argilas, ocasionando alterações na porosidade e prejudicando o movimento de água do solo (SUN et al., 2012). Essa obstrução acarreta uma série de impactos em cadeia que aceleram o

processo de degradação do solo, como a redução da infiltração da água no solo, o aumento do escoamento

superficial, promovendo remoção das camadas mais férteis do solo.

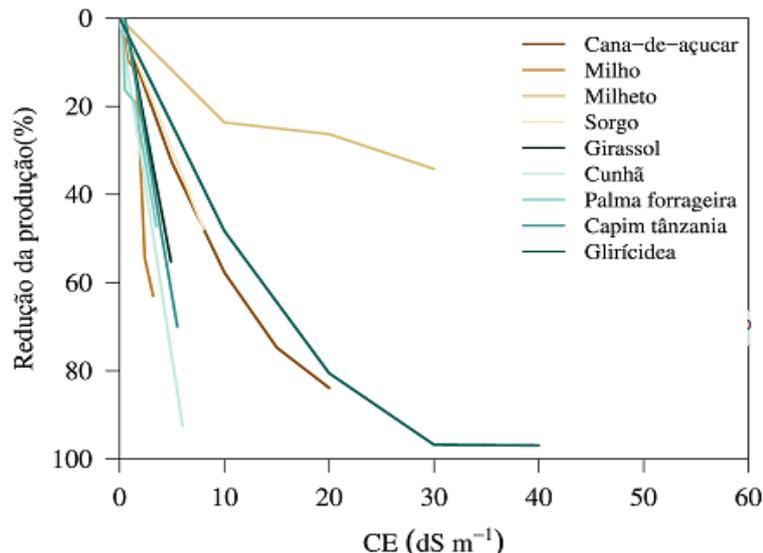


Figura 2. Redução no ganho de biomassa de plantas forrageiras sob estresse salino: palma forrageira (FREIRE, 2012), milho (NAZÁRIO et al., 2013), milheto (BORDE et al., 2011), sorgo (SIMÕES et al., 2016), girassol (NOBRE et al., 2011), cunhã (MARTINIS et al., 2012), cana-de-açúcar (WILLADINO et al., 2011), capim tanzânia (MAIA et al., 2015), gliricídea (FARIAS et al., 2009).

Além do impacto sobre a estrutura do solo, os sais presentes reduzem consideravelmente a ciclagem de nutrientes do mesmo, uma vez que os microrganismos sofrem efeitos osmóticos e tóxicos da salinidade (YAN et al., 2015). Esse efeito pode ser evidenciado pela redução do efluxo de CO₂ em solos irrigados com água salina (OLIVEIRA et al., 2017), sendo a atividade dos microrganismos mais afetada pelo efeito osmótico, do que tóxico dos sais dissolvidos na solução do solo (MAVI e MARSCHNER, 2017). Além disso, a redução da atividade dos microrganismos prejudica de forma indireta a fertilidade do solo, pois os processos de mineralização e mobilização são alterados.

Monitoramento e classificação de água e solos salinos

A forma mais prática de se monitorar a salinidade, seja do solo ou da água, é por meio da sua condutividade elétrica (CE) (HOLANDA et al., 2016), pois permite estimar a quantidade de sais solúveis,

tendo em vista que a quantidade de íons presentes na água é diretamente proporcional a corrente elétrica. Outra vantagem de se analisar a CE é a determinação rápida, simples e de baixo custo (condutivímetros de bolso ou bancada).

A razão de adsorção de sódio (RAS) também tem sido bastante utilizada como indicativo de qualidade da água, pois expressa a razão de sódio em relação ao cálcio e magnésio. A RAS é adotada como critério a ser observado para se quantificar o risco de sodificação do solo.

O monitoramento desses parâmetros deve ser realizado de forma periódica, como suporte ao planejamento e tomada de decisão em áreas irrigadas (MANTOVANI et al., 2009).

A partir da CE e da RAS é possível classificar a água de irrigação quanto a restrição de uso, utilizando a classificação proposta pelo United States Department of Agricultural (USDA), apresentada por Richards (1954), sendo essa a classificação mais utilizada (Tabela 1).

Tabela 1. Classificação da água proposta pelo United States Department of Agricultural (USDA), apresentada por Richards (1954)

Critérios para classificação da água					
Salinidade			Sodicidade		
Cla	Ris	CE (dS m ⁻¹)	Cla	Ris	RAS
C1	B	< 0,25	S1	B	RAS < 18,87 - 4,4 logCE
C2	M	0,25 - 0,75	S2	M	18,87-4,44logCE<RAS<31,31-6,66 logCE
C3	A	0,75 - 2,25	S3	A	31,31-6,66 logCE<RAS<43,75-8,87 logCE
C4	MA	> 2,25	S4	MA	RAS > 43,75 - 8,87 logCE

Cla - classe, Ris - risco, CE - condutividade elétrica, RAS - razão de adsorção de sódio, B - baixo, M - médio, A - alto, MA - muito alto.

A classificação de acordo com o conteúdo iônico dominante tem ganhado destaque nos últimos anos, pois permite qualificar a água quimicamente em determinados grupos, facilitando a tomada de decisão acerca do seu manejo.

A partir de um diagrama de Piper, com o auxílio do software QualiGraf (MOBUS, 2003), torna-se possível classificar a água quimicamente em: magnesianas, cálcicas, sódicas, sulfatadas, bicarbonatadas, cloretadas, sulfatadas ou cloretadas/cálcicas ou magnesianas, bicarbonatadas/cálcicas, bicarbonatadas sódicas, sulfatadas/cloretadas sódicas e mistas. Contudo, essa classificação esbarra no elevado custo para aquisição de todos os parâmetros químicos da água, necessários para construção do diagrama de Piper.

As classificações e parâmetros de qualidade da água citadas anteriormente preocupam-se unicamente em classificar a água quanto ao risco de salinização e sodificação do solo por questões de praticidade e custo. Contudo, quando se pensa em fazer irrigação torna-se necessário a avaliação de mais parâmetros, para que se escolha a melhor forma de manejo dessa água, devido à complexidade dos efeitos dos sais sob a planta, o sistema de irrigação e o solo. Diante dessa problemática, Holanda et al. (2016) propuseram a análise de parâmetros relacionados a salinidade (CE e sais dissolvidos totais), cátions/ânions (cálcio, magnésio, sódio, cloreto, sulfato, carbonato e bicarbonato), nutrientes (nitrogênio, fósforo e potássio), entre outros (pH, boro e RAS).

A classificação dos solos afetados por sais segue critérios semelhantes a classificação da água, com base em três parâmetros: a partir do conteúdo de sais presentes no extrato de saturação do solo, medido pela CE do extrato de saturação (CEes); pela presença de sódio em relação aos demais cátions presentes na solução do solo, avaliado pela Porcentagem de

Sódio Trocável (PST); e pelo pH do solo (RIBEIRO et al., 2016). De uma forma ampla os solos podem ser classificados em salinos (CEes > 4 dS m⁻¹; PST < 15%; pH < 8,5), salino-sódicos (CEes > 4 dS m⁻¹; PST > 15%; pH < 8,5), e sódicos (CEes < 4 dS m⁻¹; PST > 15%; pH > 8,5). Recentemente, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (SiBCS) propôs a inclusão dos caracteres salino, sálico, solódico e sódico na classificação do solo, sendo que estes caracteres podem entrar no 2º, 3º ou 4º nível categórico, a depender da importância de cada um deles para formação do solo (EMBRAPA, 2013). Como não é o foco dessa revisão mais informações podem ser obtidas no Manual de Classificação do Solo publicado pelo SiBCS e EMBRAPA.

Mecanismos de tolerância das plantas ao estresse salino

Embora a salinidade promova efeitos osmóticos e iônicos nos vegetais, as diversas espécies ou cultivares respondem de forma diferente quando expostas a essas condições. Para atenuar os efeitos deletérios do estresse salino, as plantas desenvolvem estratégias fisiológicas, bioquímicas e morfológicas de aclimatação e adaptação a ambientes salinos. Em relação a tolerância à salinidade, pode-se dividir as plantas em dois grandes grupos: halófitas e glicófitas, sendo que as halófitas são potencialmente mais tolerantes à salinidade por possuírem estratégias mais eficientes na convivência com o estresse salino, enquanto que as glicófitas são menos tolerantes aos sais ou extremamente sensíveis, havendo uma alta variabilidade entre espécies, cultivares em função dos mecanismos de tolerância que cada uma apresenta (DIAS et al., 2016).

A redução da área foliar e do número de folhas é um importante mecanismo morfológico

de convivência com o estresse salino (OLIVEIRA et al., 2011), uma vez que a redução na área foliar proporciona diminuição no fluxo transpiratório das plantas, acarretando em uma menor absorção de água e, conseqüentemente, menor carregamento dos íons salinos (TAIZ et al., 2017). No entanto, a redução no número de folhas pode estar associada aos efeitos tóxicos dos íons Na⁺ e Cl⁻ sobre o metabolismo celular (SILVA et al., 2011).

Outro mecanismo de adaptação morfológica que algumas plantas apresentam é o aumento na massa de raízes, permitindo a exploração de um maior volume de solo, onde os níveis de salinidade são menores, sendo observado em plantas de feijão em determinados níveis de salinidade da água de irrigação (RHEIN et al., 2015). Algumas plantas para sobrevivência em ambientes salinos, tendem a promover um encurtamento no ciclo de vida (FEIJÃO, 2017), uma vez que se a planta passa menos tempo exposta ao estresse, menor será seu efeito sobre a planta.

Já em plantas halófitas, além dos mecanismos descritos acima, ocorrem com maior expressão mecanismos de tolerância bioquímicos e fisiológicos. A compartimentação dos íons salinos no vacúolo da célula é uma estratégia adotada por muitas halófitas, como a erva-sal (*Atriplex nummularia*). Essa espécie consegue se desenvolver em solos com altos níveis de salinidade, não só pelos mecanismos de compartimentação, mas também por ser capaz de fazer ajustamento osmótico, através do acúmulo de

compostos compatíveis (prolina, glicina betaína, etc). Esse acúmulo permite equilibrar o potencial hídrico da planta com o do solo, superando assim o efeito osmótico imposto pela salinidade do solo (KHAN et al., 2012). As plantas glicófitas até conseguem fazer ajustamento osmótico (RODRÍGUEZ et al., 2010), porém com menor intensidade, sendo que a estratégia de exclusão dos íons salinos é mais utilizada nestas plantas glicófitas, pois as mesmas não possuem mecanismos de compartimentação (WILLADINO e CAMARA, 2010).

Os danos oxidativos relativos aos efeitos indiretos da salinidade podem ser evitados em plantas tolerantes por mecanismos de defesa, que utilizam aparato enzimático para eliminação das espécies reativas de oxigênio (EROs), como a dismutase do superóxido (SOD), catalase (CAT), peroxidase do ascorbato (APX), e não enzimático, como o ácido ascórbico, glutathiona, caratenóide, entre outros (MITTLER, 2002). Carvalho et al. (2016) estudando o estresse salino em variedades de cana-de-açúcar encontraram aumento da atividade das enzimas APX e CAT nas variedades mais tolerantes ao estresse salino (Figura 3).

Os fitohormônios têm uma influência direta mediando os processos de limpeza de EROs, além de participarem ativamente da modulação de vários outros processos fisiológicos e mecanismos bioquímicos de tolerância ao estresse salino (FATMA et al., 2013).

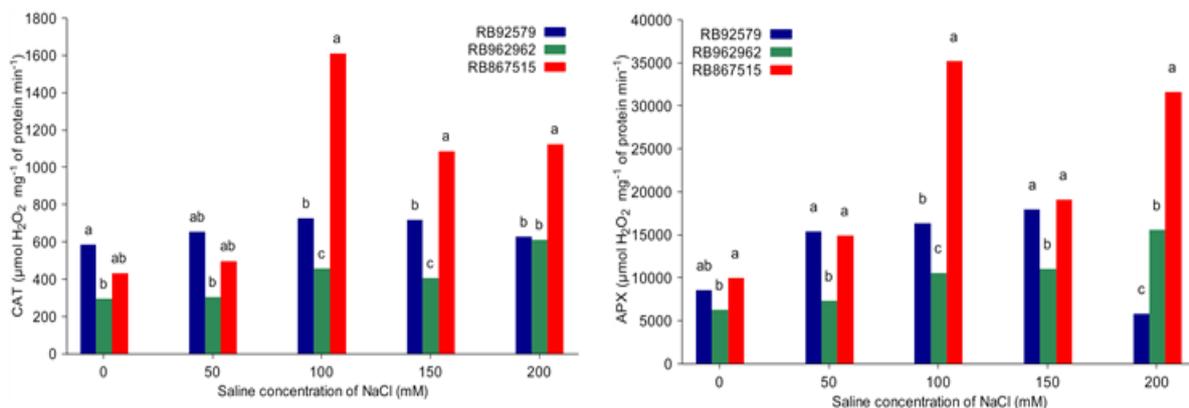


Figura 3. Avaliação da atividade da catalase (CAT) e peroxidase do ascorbato (APX) em folhas de cana-de-açúcar submetidas ao estresse salino. Fonte: Carvalho et al. (2016).

Novas pesquisas em ambientes controlados, lançando-se mão de técnicas como a inserção de bactérias promotoras do crescimento (KAUSHAL

e WANI, 2016) e da engenharia genética (inserção de genomas resistentes) em programas de melhoramentos genético de plantas têm obtido

resultados promissores (SILVEIRA et al., 2016). Porém, são necessárias avaliações em condições de campo, onde o grau de dificuldade para expressar a resistência é muito maior, devido aos inúmeros fatores em interação, como solo, clima, patógenos, entre outros. Por fim, diversos são os mecanismos que as plantas desenvolvem para conviver em ambientes salinos, mas dificilmente plantas tolerantes ou resistentes ao estresse salino possuem um único mecanismo de defesa (SILVEIRA et al., 2016).

Manejo de água salina no cultivo de plantas forrageiras

Diante da escassez hídrica e a necessidade de manutenção das atividades agropecuárias, o uso de águas salinas surge como uma alternativa interessante. Contudo, para sua utilização é necessário que esteja atrelada a algumas técnicas de manejo, para minimizar o efeito dos sais sobre o solo e as plantas. O primeiro passo seria realizar uma análise físico-químicas da água, para auxiliar na tomada de decisão quanto ao seu uso. Com isso, deve-se dar uma maior atenção à quantidade de sódio presente, uma vez que esse elemento além de tóxico para planta, danifica a estrutura do solo (SUN et al., 2012). Outro fator importante a considerar é o solo, pois solos com maior profundidade e maior proporção de areia proporcionam às plantas uma melhor expressão do seu potencial produtivo quando irrigadas com águas salinas (SILVA et al., 2014).

Com base nas características da água e do solo, algumas técnicas de manejo podem ser empregadas visando a redução do impacto do uso de águas salinas. A principal técnica adotada tem sido o cultivo de plantas tolerantes ou moderadamente tolerantes à salinidade, sendo essa tolerância definida como o valor limiar de salinidade (LS), ou seja, a partir desse valor a planta tem seu desenvolvimento comprometido. No entanto, esse valor de LS varia dentro de uma mesma espécie, em função da cultivar. Além disso, uma planta pode não expressar sua capacidade de resistência em função do solo, sistema de irrigação, manejo da cultura e condições meteorológicas. Essa última é muitas vezes negligenciada, mas tem forte influência pois é determinante sob o processo de transpiração, e, portanto, quando uma planta transpira menos, menor também será a quantidade de sal absorvida por ela e o volume de água salina repostado via irrigação (menor acúmulo de sais próximos das raízes). Assim, uma mesma planta pode apresentar características de tolerância em determinada região de clima

úmido, mas pode não ser tolerante nas condições do semiárido, por exemplo (LACERDA et al., 2016).

A fase fenológica em que a planta se encontra quando se inicia a irrigação com água salina também é determinante para expressão ou não da tolerância à salinidade. Um exemplo clássico é a cultura do melão, que é extremamente afetada pelos sais nas fases iniciais, porém a partir da floração sofre poucas implicações (DIAS et al., 2011). Contudo, são poucas as espécies vegetais que têm essa informação disponível. Outro ponto a ser considerando é a viabilidade econômica do uso de plantas tolerantes, pois uma planta sensível, mesmo reduzindo sua produção significativamente, pode ser mais viável financeiramente do que uma planta tolerante (LACERDA et al., 2016).

Assim, alternativas de manejo que permitam o cultivo de espécies mais rentáveis é de grande importância. Dentre essas alternativas, têm-se encontrado bons resultados com a utilização da mistura de água de boa qualidade com a água salina, proporcionando economia de até 40% de água de boa qualidade e com baixas reduções na produção de fitomassa para as culturas do milho e sorgo (SILVA et al., 2014). O uso alternado da irrigação com água de boa e péssima qualidade (5 dS m^{-1}) tem resultado em 50% de economia de água e manutenção da produção de milho (BARBOSA et al., 2012).

Todavia, muitas vezes o produtor rural não possui água de boa qualidade para que possa ser empregada à técnica citadas acima, sendo obrigatória a utilização de água salina. A estratégia para atenuar o efeito dessa água salina sobre as plantas começa na escolha do sistema de irrigação a ser utilizado, sendo o gotejamento a melhor opção, pois permite a aplicação de menores quantidades de água salina, mantém o potencial matricial do solo sempre próximo de zero, o que pode minimizar o efeito do potencial osmótico, bem como formar bulbo úmido e direcionar boa parte dos sais para a periferia do bulbo (LACERDA et al., 2016). Esse sistema ainda permite a aplicação de frações de lixiviação com maior precisão, sendo que nestas frações é considerado o volume de água adicionado acima da necessidade hídrica das plantas, que tem por finalidade transportar os sais para baixo do sistema radicular. Contudo, essa prática traz implicações negativas como a lixiviação de fertilizantes, além da aplicação de mais sais ao solo.

As adubações, como a nitrogenada, têm sido testadas com êxito para atenuar o efeito da salinidade (SOUZA et al., 2017). No entanto, recomenda-se a utilização de adubos orgânicos, pois além de não

adicionarem mais sais ao solo como os fertilizantes industrializados, ainda promove disponibilidade de nutrientes, aumento na atividade de microrganismos do solo, causando um incremento no crescimento das plantas e maior resistência ao estresse salino (VIMAL et al., 2017).

Um problema dessa estratégia de manejo é que muitas vezes é desprezado o efeito gradativo do acúmulo de sais sobre o solo, pois com o solo úmido os sais encontram-se abaixo da zona radicular ou dissolvidos na solução. Mas a partir do momento que o solo começa a perder água, seja por evaporação e/ou absorção das plantas (transpiração) os sais tendem a ascender para superfície. Ou seja, independente da forma de manejo da água salina, ocorrerá aplicação de sais ao solo, e com o passar do tempo esse mesmo solo poderá ficar impróprio para o cultivo de algumas espécies vegetais.

Diante dessa situação, o cultivo de grãos durante o período chuvoso, em áreas anteriormente irrigadas com água salina durante a estação seca, tem sido uma estratégia promissora para evitar o acúmulo dos sais no solo pelo uso contínuo da irrigação (LACERDA et al., 2016). Assim, além das vantagens da rotação de cultura, esse manejo proporcionaria a lixiviação dos sais do solo durante o período chuvoso. Entretanto, as espécies utilizadas nesse sistema de manejo devem ser tolerantes à salinidade, uma vez que as plantas cultivadas na época de seca estarão sob um constante acúmulo de sais no sistema radicular e se cultivada no período úmido iniciará seu ciclo com uma concentração elevada de sais próximo ao seu sistema radicular. Além disso, é necessário que as condições de clima e solo favoreçam o processo de lixiviação dos sais.

Assim, formas de manejo do solo que

auumentem a permeabilidade da água ao longo do perfil do solo, como aração, gradagem, subsolagem e cultivo de plantas com uma alta densidade de raízes, permitem a lixiviação dos sais com maior facilidade (CAVALCANTE et al., 2016) em regiões em que a chuva é escassa, como por exemplo, em regiões áridas e semiáridas. O consórcio de culturas em áreas irrigadas com água salina tem mostrado resultados promissores, Lima et al. (2018) avaliando o consórcio palma forrageira Orelha de Elefante Mexicana (*Opuntia stricta*) com sorgo forrageiro (*Sorghum bicolor*) cv. IPA 2502 e Diniz et al. (2017) avaliando *O. stricta* com *S. bicolor* cv. SF-15 não encontraram redução da produtividade em virtude da irrigação com água salina.

Manejo de solos afetados por sais para o cultivo de plantas forrageiras

A forma mais utilizada para prevenir ou recuperar um solo salino é por meio da drenagem, que consiste em submeter o solo a uma lavagem com água de baixa concentração de sais. A drenagem pode ocorrer de forma natural, por meio da chuva, ou com a aplicação de volumes consideráveis de água via irrigação, o que pode originar respostas mais rápidas (Figura 4). Aqui não será detalhado o processo de drenagem, visto sua complexidade, informações sobre esse tema podem ser encontradas no livro Fundamentos da Drenagem Agrícola. Porém, algumas técnicas auxiliares maximizam a eficiência deste processo, como a aração profunda, subsolagem, sistematização e nivelamento, lavras superficiais, misturas com areia, inversão de perfis, aplicação de resíduos orgânicos e cultivos de elevada evapotranspiração (CAVALCANTE et al., 2016).

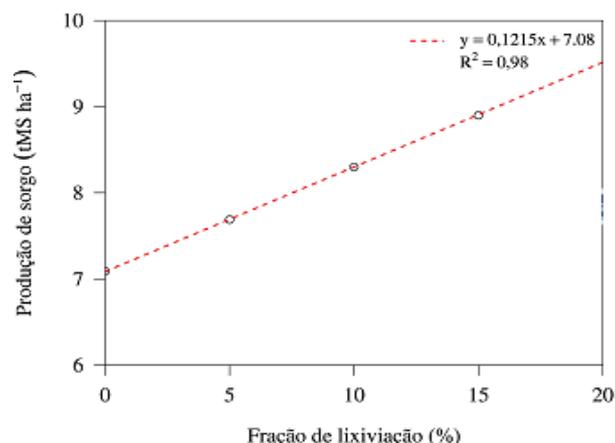


Figura 4. Incremento de produção da matéria seca ($t\ ha^{-1}$) se sorgo em função do aumento da fração de lixiviação. Fonte: Guimarães et al. (2016).

Antes de iniciar o processo de drenagem a classificação do solo quanto à salinidade é imprescindível, visto que tratando-se de um solo salino-sódico somente a utilização da lavagem não é suficiente, pois enquanto os demais íons e cátions serão lixiviados o sódio ficará presente no complexo sortivo, passando o mesmo a ser dominante, e agravando ainda mais os problemas estruturais do solo (HUSSAIN et al., 2001). Para esses casos é recomendado a incorporação de um condicionante, como o gesso agrícola, que consegue tornar o sódio solúvel na solução do solo, fazendo com que o mesmo seja lixiviado com facilidade (TAVARES FILHO et al., 2012).

Atualmente, um dos grandes desafios da drenagem é o que se fazer com o produto final (água lixiviada), devido ao elevado teor de sais e outros poluentes, uma vez que na grande maioria dos projetos executados essa água é descartada indiscriminadamente. Diante dessa questão tem se aumentado o número de pesquisas que propõem formas alternativas para o manejo desses solos, sendo que a fitorremediação tem ganhado destaque, pois é realizada com plantas altamente tolerantes à salinidade e que depois podem ser utilizadas na alimentação animal. Como exemplo, pode-se citar a erva-sal (*Atriplex nummularia*), que além da grande capacidade de extrair sais do solo, possui boas características nutricionais e digestivas para ser

utilizada na alimentação animal (MORENO, 2011).

Conclusão

A grande parte dos estudos sobre salinidade se concentra em poder utilizar água salina em atividades agropecuárias, não levando em consideração os impactos dessa água sobre o solo.

São necessárias pesquisas mais aprofundadas sobre os efeitos da salinidade sob a microbiota do solo e o estoque de carbono.

O grande desafio está na combinação de métodos que sejam eficientes para convivência com os sais, isso só será possível com a integração de tecnologia.

São necessários mais estudos sobre as técnicas de manejo de água salina e solos afetados por sais, para viabilizar o cultivo de plantas forrageiras.

Muitos estudos sobre a salinidade incluem unicamente o NaCl, apesar de ser realmente o sal mais abundante na solução do solo. Porém, essas pesquisas podem não expressar o real comportamento dos vegetais, uma vez que na natureza da água salina também são encontrados outros elementos, como Mg e Ca, embora benéficos para as plantas e o solo até determinados níveis.

Há ainda, uma grande necessidade de classificação da água quanto ao risco de salinidade e sodicidade para as condições e tipos de solos do Brasil.

Referências

- ALMEIDA NETO, O. B. et al. Influência da qualidade da água de irrigação na dispersão da argila de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 33, n. 1, p. 1571-1581, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000600006
- BARBOSA, F. S. et al. Yield and ion content in maize irrigated with saline water in a continuous or alternating system. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p. 1731-1737, 2012. DOI: 10.1590/S0103-84782012001000003
- BENNETT, J. S.; BARRETT-LENNARD, E. G.; COLMER, T. D. Agriculture, Ecosystems and Environment Salinity and waterlogging as constraints to saltland pasture production : A review. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 129, p. 349-360, 2009. DOI: 10.1016/j.agee.2008.10.013
- BERTOSSI, A. P. A. Influência da aplicação de águas residuárias sobre a infiltração de água no solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 8, n. 5, p. 188-193, 2013.
- BESSA, M. C. et al. Mechanisms of salt tolerance in seedlings of six woody native species of the Brazilian semi-arid. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 1, p. 157-165, 2017.
- BORDE, M.; DUDHANE, M.; JITE, P. Growth photosynthetic activity and antioxidant responses of mycorrhizal and non-mycorrhizal bajra (*Pennisetum glaucum*) crop under salinity stress condition. **Crop Protection**, v. 30, n. 3, p. 265-271, 2011.
- CARVALHO, F. et al. Enzymatic activity of three sugarcane varieties under salt stress. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 9, p. 806-810, 2016.

- CAVALCANTE, L. F. et al. Recuperação de solos afetados por sais. In: GHEY, H. R. et al. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2a ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504 p.
- CHICONATO, D. A. Estresse salino em plantas jovens de cana-de-açúcar: respostas bioquímicas e fisiológicas. Tese de doutorado (Agronomia), Universidade Estadual Paulista, 2016, 102f.
- COELHO, D. S. et al. Gas exchange and organic solutes in forage sorghum genotypes grown under different salinity levels. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 22, n. 4, p. 231-236, 2018.
- COMINELLI, E. et al. Challenges and perspectives to improve crop drought and salinity tolerance. **New Biotechnology**, v. 30, n. 4, p. 355-361, 2013. DOI: 10.1016/j.nbt.2012.11.001
- DALIAKOPOULOS, I. N. et al. Science of the Total Environment The threat of soil salinity : A European scale review. **Science of the Total Environment**, v. 573, p. 727-739, 2016. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.08.177
- DIAS, N. D. S. et al. Efeitos dos sais na planta e tolerância das culturas à salinidade. In: GHEY, H. R. et al. (Eds.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2a ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. p. 504.
- DIAS, N. S. et al. Concentração salina e fases de exposição à salinidade do meloeiro cultivado em substrato de fibra de coco. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 915-921, 2011. DOI: 10.1590/S0100-29452011005000084
- DINIZ, W. J. S. et al. Forage cactus-sorghum intercropping at different irrigation water depths in the Brazilian Semiarid Region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 9, p. 724-733, 2017.
- DUARTE, H. F. H.; SOUZA, E. R. DE. Soil Water Potentials and *Capsicum annuum* L. under Salinity. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 40, p. 1-11, 2016. DOI: 10.1590/18069657rbc20150220
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2013, 353.
- FARIAS, S. G. G. et al. Estresse salino no crescimento inicial e nutrição mineral de gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Steud) em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 5, p. 1499-1505, 2009. DOI: 10.1590/S0100-06832009000500040
- FATMA, M. et al. Coordinate changes in assimilatory sulfate reduction are correlated to salt tolerance: Involvement of phytohormones. **Annual Review and Research in Biology**, v. 3, n. 3, p. 267-295, 2013.
- FREIRE, J. L. Avaliação de clones de palma forrageira (*Opuntia* e *Nopalea*) sob irrigação e salinidade. 2012. 85 f. Tese (Doutorado em Zootecnia), Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. The State of Food Insecurity in the World 2008: High Food Prices and Food Security-Threats and Opportunities. FAO, 2008.
- FEIJÃO, A. R. Influência de diferentes fontes de nitrogênio na tolerância de plantas de girassol ao estresse salino. 2017. 116 f. Tese (Doutorado em Bioquímica), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- GARCIA, G. O. et al. Teores foliares dos macronutrientes catiônicos e suas relações com o sódio em plantas de milho sob estresse salino. **Idesia**, v. 25, n. 3, p. 93-106, 2007.
- GUIMARÃES, M. J. M. et al. Cultivation of forage sorghum varieties irrigated with saline effluent from fish-farming under semiarid conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 5, p. 461-465, 2016.
- HOLANDA, J. S. et al. Qualidade da água para irrigação. In: GHEY, H. R. et al. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2a ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504 p.
- HUSSAIN, N. et al. Evaluation of Amendments for the Improvement of Physical Properties of Sodic Soil. **International Journal of Agriculture & Biology**, v. 3, n. 3, p. 391-322, 2001.
- 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. DOI: 10.1016/j.agr.2016.06.031

- KAWASAKI, T.; AKIBA, T.; MORITSUGU, M. Effects of high concentrations of sodium chloride and polyethylene glycol on the growth and ion absorption in plants: I. Water culture experiments in a greenhouse. **Plant and Soil**, v. 75, p. 75-85, 1983.
- KHAN, M. I. R. et al. Variation in Salt Tolerance of Wheat Cultivars: **Role of Glycinebetaine and Ethylene**. **Pedosphere**, v. 22, n. 6, p. 746-754, 2012. DOI: 10.1016/S1002-0160(12)60060-5
- LACERDA, C. F. et al. Estratégias de manejo para uso de água salina na agricultura. In: GHEY, H. R. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2a ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504 p.
- LEVITT, J. Responses of Plants to Environmental Stresses. **Science**, v. 177, n. 4051, pp. 689, 1972. DOI: 10.1126/science.177.4051.786
- LIMA, L. R. et al. Productive-economic benefit of forage cactus-sorghum intercropping systems irrigated with saline water. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 191-201, 2018.
- MAIA, P. M. E. et al. Interação salinidade e nitrogênio sobre os componentes de produção do capim Tanzânia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 9, n. 4, p. 259-268, 2015.
- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação Princípios e Métodos**. 2ª ed. Viçosa: Editora UFV, 2009. 318 p.
- MAVI, M. S.; MARSCHNER, P. Impact of Salinity on Microbial Activity and Organic Matter Dynamics in Soils is more Closely Related to Osmotic Potential than EC. **Pedosphere**, v. 160, n. 5, p. 949-959, 2017. DOI: 10.1016/S1002-0160(17)60418-1
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Handbook of Oxidants and Antioxidants in Exercise**, v. 7, n. 9, p. 927-949, 2002.
- MÖBÜS, G. QUALIGRAF. Programa para Análise da Qualidade de água. FUNCEME, 2003. Disponível em: <http://www3.funceme.br/qualigraf/> Acesso em: 17. Jan. 2018.
- MARTINS, S. S. et al. Morfofisiologia da cunhã cultivada sob estresse salino. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 31, n. 1, p. 13-24, 2012.
- MORENO, G. M. B. Feno de erva-sal (*Atriplex nummularia*) na terminação de cordeiros Santa Inês. 2017. 116 f. Tese (Doutorado em Bioquímica), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- MOREIRA BARRADAS, J. M. et al. Effect of Fertigation on Soil Salinization and Aggregate Stability. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 141, n. 4, p. 1-7, 2015. DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000806
- MUNNS, R.; TESTER, M. Mechanisms of Salinity Tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, v. 59, n. 1, p. 651-681, 2008. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911
- NAZÁRIO, A. A. et al. Desenvolvimento e produção do milho irrigado com água de diferentes condutividades elétricas. **Engenharia Ambiental: Tecnologia e Pesquisa**, v. 10, n. 2, p. 117-130, 2013.
- NOBRE, R. G. et al. Produção de girassol sob estresse salino e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, n. 3, p. 929-937, 2011.
- OLIVEIRA, F. D. A. et al. Desempenho de cultivares de alface submetidas a diferentes níveis de salinidade da água de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 15, n. 08, p. 771-777, 2011. DOI: 10.1590/S1415-43662011000800002
- OLIVEIRA, W. J. et al. Leaf gas exchange in cowpea and CO₂ efflux in soil irrigated with saline water. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 32-37, 2017. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v21n1p32-37
- RIBEIRO, M. R. et al. **Origem e classificação dos solos afetados por sais**. In: GHEY, H. R. et al. **Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados**. 2a ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504 p.
- RICHARDS, L. A. (ed). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington DC, US Department of Agriculture, 1954. 160 p.

- RHEIN, A. F. L. et al. Crescimento radicular e pigmentos clorofilianos em duas forrageiras submetidas a níveis crescentes de NaCl. **Científica**, v. 43, n. 4, p. 330-335, 2015. DOI: 10.15361/1984-5529.2015.
- RODRÍGUEZ, E. S. et al. Genotypic differences in some physiological parameters symptomatic for oxidative stress under moderate drought in tomato plants. **Plant Science**, v. 178, n. 1, p. 30-40, 2010. DOI: 10.1016/j.plantsci.2009.10.001
- 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, 2017. DOI: 10.14808/sci.plena.2017.109908
- 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. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2010.05.036
- SILVA, J. L. D. A. et al. Uso de águas salinas como alternativa na irrigação e produção de forragem no semiárido nordestino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 66-72, 2014. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v18nsupps66-s72
- SILVA, E. N. et al. Salt stress induced damages on the photosynthesis of physic nut young plants. **Scientia Agrícola**, v. 68, n. 1, p. 62-68, 2011. DOI: 10.1590/S0103-90162011000100010
- SILVEIRA, J. A. G. et al. Mecanismos biomoleculares envolvidos com a resistência ao estresse salino em plantas. In: GHEY, H. R. et al. Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2a ed. Fortaleza: INCTSal, 2016. 504 p.
- SIMÕES, W. L. et al. Growth of sugar cane varieties under salinity. **Revista Ceres**, v. 63, n. 2, p. 265-271, 2016.
- SOUSA, G. G. et al. Nutrição mineral e extração de nutrientes de planta de milho irrigada com água salina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 11, p. 1143-1151, 2010. DOI: 10.1590/S1415-43662010001100003
- SOUZA, P. S. et al. Produção de porta-enxerto de goiabeira cultivado com águas de diferentes salinidades e doses de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, n. 4, p. 596-604, 2017.
- STEUDLE, E.; PETERSON, C. A. How does water get through roots? **Journal of Experimental Botany**, v. 49, n. 322, p. 775-788, 1998.
- SUN, J. et al. Soil salinity management with drip irrigation and its effects on soil hydraulic properties in north China coastal saline soils. **Agricultural Water Management**, v. 115, p. 10-19, 2012. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.08.006
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ªed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 858 p.
- TAVARES FILHO, A. N. et al. Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade de solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 247-252, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000300002
- 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. DOI: 10.1016/S1002-0160(17)60309-6
- WILLADINO, L. et al. Estresse salino em duas variedades de cana-de-açúcar: enzimas do sistema antioxidativo e fluorescência da clorofila. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 2, p. 417-422, 2011.
- WILLADINO, L.; CAMARA, T. R. Tolerância das plantas à salinidade: aspectos fisiológicos e bioquímicos. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 11, p. 1-23, 2010.
- YAN, N. et al. Influence of salinity and water content on soil microorganisms. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 3, n. 4, p. 316-323, 2015. DOI: 10.1016/j.iswcr.2015.11.003